كراسات علمية

سلسلة غير دورية تعنى بالإتجاهات العلمية الحديثة



الطاقة

فى القرن الواحد والعشرين

دكتور

محمد محمود عمار

تصدرها :

المكتبة الأكاديمية

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

ISO 9002

كراسات « علمية »

سلسلة غير دورية تصدرها المكتبة الأكاديمية

تعنى بتقديم الاجتهادات العلمية الحديثة

رئيس التحرير أ.د. أحمد شوقى   مدير التحرير أ. أحمد أمين

المراسلات :

المكتبـــة الأكاديميـــة

شركة مساهمة مصرية

رأس المال المصدر والمدفوع ١٨،٢٨٥،٠٠٠ جنيه مصرى

١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة

القاهرة - جمهورية مصر العربية

تليفون : ٧٤٨٥٢٨٢ - ٣٣٦٨٢٨٨ (٢٠٢)

فاكس : ٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

الحاصلة على شهادة الجودة

ISO 9002

Certificate No.: 82210

03/05/2001

UKAS QUALITY MANAGEMENT

الـطاقـــة

فى القرن الواحد والعشرين

الطاقـــــة

فى القرن الواحد والعشرين

إعـــداد
الدكتور / محمد محمود عمار
أستاذ الفيزياء
رئيس المعهد القومي للمعايرة السابق

النـاشر
المكتبة الأكاديمية
شركة مساهمة مصرية

٢٠٠٧

حقوق النشر

الطبعة الأولى ٢٠٠٧م - ١٤٢٧هـ

المكتبـة الأكاديميـة

شركة مساهمة مصرية

رأس المال المصدر والمدفوع ١٨،٢٨٥،٠٠٠ جنيه مصرى

١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة

القاهرة - جمهورية مصر العربية

تليفون : ٧٤٨٥٢٨٢ - ٣٣٦٨٢٨٨ (٢٠٢)

فاكس : ٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

هذه السلسلة

تعد استجابة منطقية لما لقيته شقيقتها الكبرى « كراسات مستقبلية » – التى بدأ ظهور أعدادها الأولى عام ١٩٩٧ – من الترحاب والتشجيع ، المقرونين بالدعوة إلى زيادة مساحة العلم فى إصدارات السلسلة إلى أقصى حد ممكن .

لقد دفعتنا هذه الدعوة إلى التفكير فى أن نفرد للموضوعات العلمية سلسلة خاصة ، تستحقها ، فكانت هذه السلسلة ، التى تمثل تطويراً وتوسعاً فى أحد محاور «كراسات مستقبلية» ، حيث ذكر فى مقدمتها ما نصه :

« الإلمام بمنجزات الثورة العلمية والتكنولوجية ، التى تعد قوة الدفع الرئيسية فى تشكيل العالم ، مع استيعاب تفاعلها مع الجديد فى العلوم الاجتماعية والإنسانية ، من منطلق الإيمان بوحدة المعرفة » .

ومن ملامح هذه السلسلة :

* المحافظة – على شكل المقال التفصيلى الطويل (Monograph) الذى تتميز به الكراسات عادة .
* الحرص على تقديم الاتجاهات والأفكار العلمية الجديدة ، بجانب تقديم المعارف الخاصة بمختلف المجالات الحديثة ، بشكل يسمح للقارئ « المتعلم غير المتخصص » ، الذى يمثل القارئ المستهدف للكراسات ، بالقدر الكافى من الإلمام والقدرة على المتابعة .
* وفى تقديمها للاتجاهات والمعارف العلمية الحديثة ، لن تتبنى الكراسات الشكل النمطى لتبسيط العلوم ، الذى يستهدف النجاح فى إضافة كمية – قلت أو كثرت – لبعض المعارف العلمية إلى ثقافة المتلقى . إننا لا نتعامل هنا مع العلم كإضافة ، ولكن كمكون عضوى أصيل للثقافة المعاصرة ، وهو مكون ثرى، يتضمن المناهج والمعلومات والأفكار والاتجاهات .
* وتأكيداً لعدم النمطية ، ستتسع السلسلة للتأليف والترجمة والعرض ، وتتضمن اجتهادات التبسيط والتنظير والاستشراف ، وستنطلق من أهمية تضامن المعرفة والحكمة وارتباط العلم الحديث بالتكنولوجيا technoscience ، مع التركيز على أهمية ارتباطهما معا بالأخلاق .

وبعد ، فإننى أتقدم بالشكر إلى كل الزملاء الذين تحمسوا للفكرة ، وساهموا فى تقديم المادة العلمية للسلسلة . وباسمهم وباسمى أشكر الصديق العزيز الأستاذ أحمد أمين ، الناشر المثقف الذى احتفى مـن قبل بسلسلة « كراسات مستقبلية » ، وشجعنا على إصدار هذه السلسلة الجديدة . والله الموفق .

هذه الكراسة

يقدم فيها الأستاذ الدكتور / محمد محمود عمار، الرئيس السابق للمعهد القومي للمعايرة والخبير بمجمع اللغة العربية، استعراضاً علميًّا واضحًا لبعض المصادر المتاحة للطاقة، التى لا تلوث البيئة بالغازات الكربونية. وقد احترت فى وضع هذه الكراسة فى سلسلة كراسات علمية أم كراسات مستقبلية، فهى تصلح للسلسلتين، وإن كان مشروع الكراسات بشكل عام يعنى بالعلم والمستقبل، أو بالعلم من أجل المستقبل، فقد فضلت أن تكون ضمن كراسات علمية. إن للدكتور عمار مؤلفات عديدة ومتنوعة، فى الفيزياء والقياس والمعايرة والطاقة والتكنولوجيا والبيئة، بل والفنون الرفيعة؛ لاهتمامه بالموسيقى الكلاسيكية. ولا شك أن هذه الكراسة ستكون من بين الأهم والأنفع ضمن مؤلفاته التى سنرحب بها دائماً .

أحمد شوقى

يناير ٢٠٠٧

مقدمة

نحن ندق ناقوس الخطر !

هذه الكراسة العلمية تتناول موضوعاً من أهم وأخطر الموضوعات العلمية والتكنولوچية التى يجب أن يتصدى لها العلماء وأصحاب القرار فى دول العالم قاطبة من أجل إنقاذ كوكب الأرض ومستقبل الحضارة الإنسانية بل ومستقبل البشرية جمعاء من الدمار والهلاك المحقق .

فتصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون نتيجة لحرق المركبات الكربونية مثل الفحم ومشتقات البترول والغاز الطبيعى المستخدمة فى توليد الطاقة اللازمة لنهضتنا الصناعية والتطور التكنولوچى المتسارع وتزايد تركيزه فى الغلاف الجوى، سيؤدى حتماً إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض، وسينتج عن ذلك ذوبان الجليد عند القطبين وارتفاع سطح المياه فى البحار والمحيطات وغرق مدن بل ودول بأكملها وتغيرات مناخية فى جميع القارات. ومع الأسف الشديد أن كل هذا سيحدث خلال خمسين سنة من الآن إذا ظل تزايد غاز ثانى أكسيد الكربون بنفس معدلاته الحالية .

وهذه الكراسة تلقى الضوء على مصادر للطاقة مثل الطاقة النووية والشمسية وطاقة الريح والطاقة الهيدروجينية وغيرها من المصادر التى يمكن استخدامها فى مختلف الأغراض التكنولوچية وفى وسائل النقل دون أن تحدث زيادة فى تركيز الغازات الكربونية .

إلا أن الإستفادة من هذه المصادر فى حاجة إلى المزيد من البحوث العلمية والتكنولوچية التى تجعلها متاحة ورخيصة الثمن، كما تتطلب تمويلاً باهظاً.

أرجو أن تحقق هذه الكراسة الهدف المرجو منها نحو تحفيز العلماء ومتخذى القرار للتصدى لهذا الخطر الداهم قبل فوات الأوان، وما ذلك ببعيد. ويسعدنى أن أقدم الشكر للأستاذ الدكتور أحمد شوقى رئيس تحرير هذه السلسلة والأستاذ أحمد أمين مدير التحرير، على تفضلهما بالموافقة على نشر هذا الموضوع الهام فى سلسلة كراسات علمية ليكون بياناً للناس .

والله ولى التوفيق ،،،

محمد محمود عمار

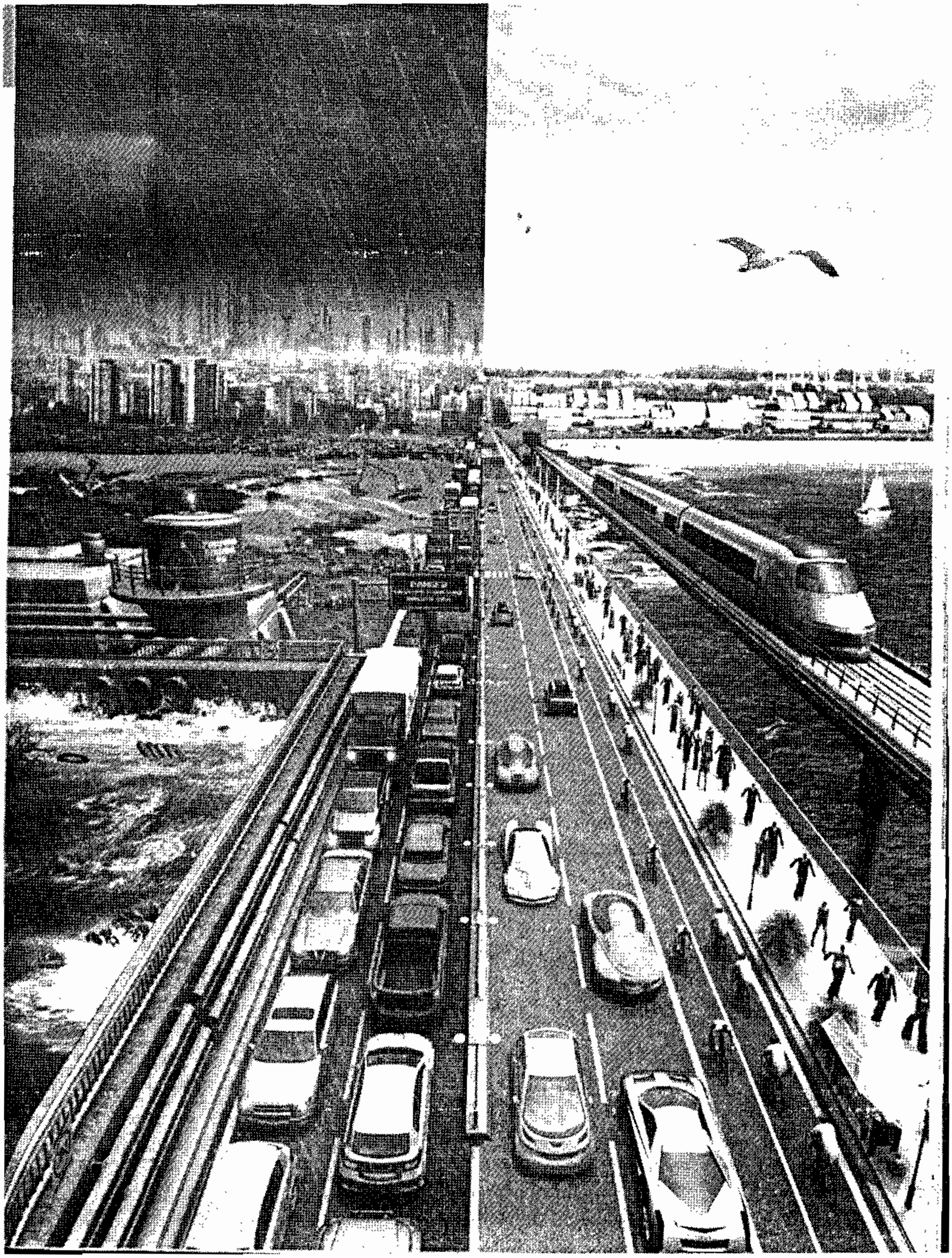
يناير ٢٠٠٧

المحتـــويـــــات

الصفحة

الباب الأول

الصفحة



الباب الأول

مصادر الطاقة التى لا تزيد من تركيز الغازات الكربونية فى الجو

الوقود الكربونى وأثره على كوكب الأرض :

المتغيرات المناخية التى تحدث على كوكب الأرض مثل العواصف المدمرة وارتفاع درجة حرارة الجو فى الصيف وارتفاع درجة حرارة سطح الأرض وذوبان الجليد عند القطبين؛ مؤشرات تحذرنا مما يمكن أن يحدث لهذا الكوكب من أضرار غير قابلة للإصلاح إذا لم نعد النظر فى استخدامنا المفرط للوقود الكربونى مثل البترول والغاز الطبيعى والفحم .

فالطاقة اللازمة للنمو الحضارى السريع تستهلك مقادير متزايدة باستمرار من الوقود الكربونى، وشركات البترول والغاز الطبيعى تضخ سنويًا ما يقرب من سبعة بلايين طن من الكربون على صورة بترول وغاز طبيعى يتم حرقه وتحويله إلى غاز ثانى أكسيد الكربون للاستفادة بما يحتوى عليه الوقود من طاقة .

إن نقطة اللاعودة فى التغيرات المناخية ستحدث عندما تصل الزيادة فى غاز ثانى أكسيد الكربون المتصاعد فى الجو إلى ضعف ما كانت عليه فى نهاية القرن الثامن عشر عندما بدأت الثورة الصناعية. وكل زيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون تمثل خطراً يقربنا من تلك النقطة .

فى الرسم البيانى (١) وضع احتمالين فى أحدهما تتزايد كمية الكربون المتصاعد إلى الجو على هيئة ثانى أكسيد الكربون بنفس المعدل الحالى لتصل إلى ١٤ بليون طن بعد ٥٠ سنة. فى هذه الحالة ستصبح كمية الكربون المتصاعدة إلى الجو ثلاث أمثال ما كانت عليه قبل الثورة الصناعية فى القرن الثامن عشر. فى الاحتمال الثانى يظل معدل انبعاث الكربون على ما هو عليه فى الوقت الحالى، أى فى عام ٢٠٠٦ وهو الناتج عن حرق ٧ بلايين طن من الكربون. فى هذه الحالة لن يحدث تضاعف لكمية غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو حتى عام ٢٠٥٦ ويظل كما هو فى الوقت الحالى، والخط العمودى الواصل بين المنحنيين يصنع مثلثًا كما فى الرسم البيانى يسمى مثلث الاستقرار Stabilization Triangle. لكن نمو الاقتصاد العالمى مع ثبات استهلاك الطاقة أمر غير ممكن. فى الثلاثين سنة الأخيرة كان معدل الزيادة السنوية فى الاقتصاد العالمى حوالى ٣ ٪ ويلاحظ من الرسم البيانى: (١) أن معدل تزايد انبعاث ثانى أكسيد الكربون كان نصف هذه النسبة، أى ١,٥ ٪ فى السنة. ولكى يظل الانبعاث على مستوى العالم عام ٢٠٥٦ كما هو

عليه فى الوقت الحالى فإن معدل تناقص ثانى أكسيد الكربون يجب أن يعادل معدل زيادة الدخل القومى، أى ٣ ٪ فى السنة .

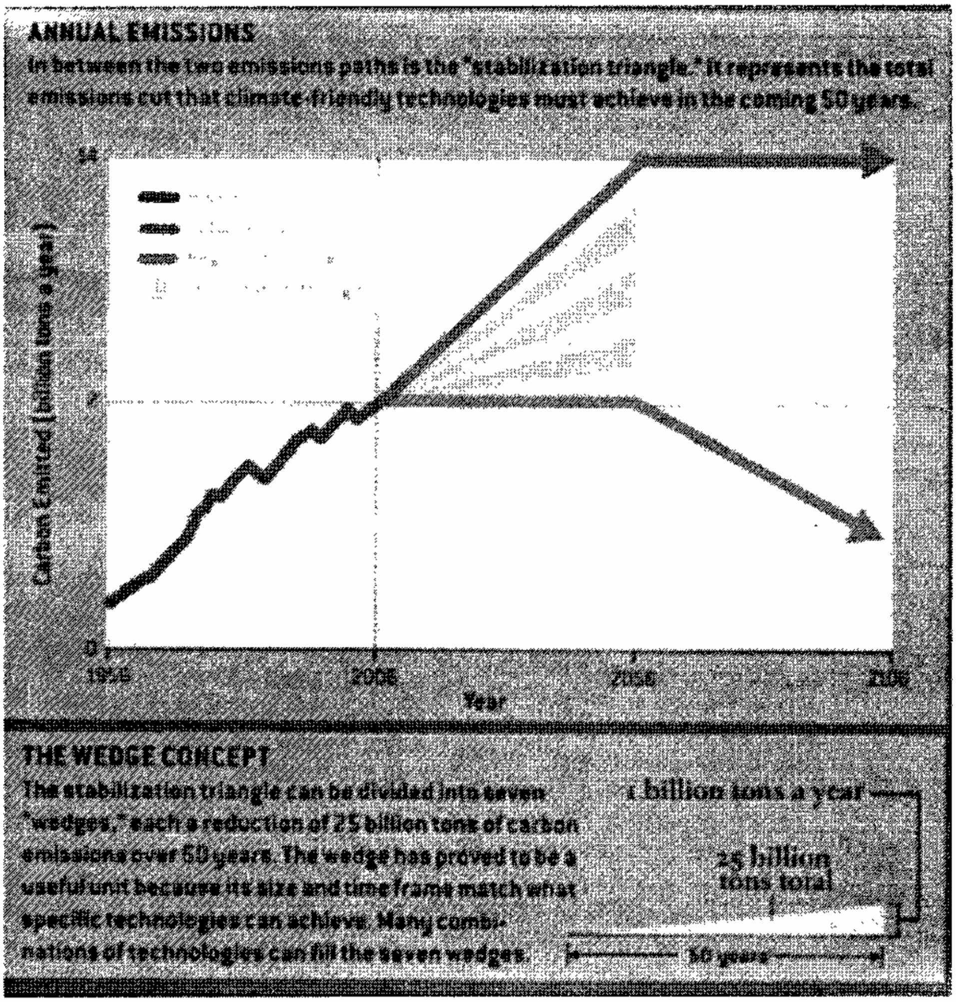
كيف يمكن الحفاظ على معدل تصاعد الكربون إلى الجو على ما هو عليه الآن مع الاستمرار فى زيادة الدخل القومى ؟

من المتوقع فى عام ٢٠٥٦ أن يصل ما يتصاعد إلى الجو من الكربون إلى ١٤ بليون طن، منها ٦ بلايين تأتى من محطات توليد الطاقة التى تعمل بالفحم ومن المتوقع أن تستهلك المنازل والمراكز التجارية والأنشطة الاقتصادية الأخرى حوالى ٦٠ ٪ من الطاقة المتولدة. فلو أمكن إنقاص هذا القدر من الطاقة إلى النصف عن طريق رفع كفاءة الأجهزة الكهربائية المستخدمة فى تلك المجالات مثل أجهزة التكييف والتسخين والصناعات المستهلكة للطاقة مثل صناعة الصلب والاهتمام بعزل جدران المنازل للحرارة، كل ذلك سيقلل من استهلاك الطاقة وبالتالى سيقلل من تصاعد ثانى أكسيد الكربون. والمصانع أيضاً يجب أن توجد سبل وتكنولوجيات موفرة للطاقة. لو نجحت تلك البرامج سوف نقترب من الحفاظ على كمية الكربون المتصاعدة فى الجو على ما هى عليه فى الوقت الحالى مع استمرار الزيادة فى الاقتصاد القومى العالمى، حيث إنه مع التوفير فى استهلاك الطاقة لن نحتاج إلى بناء محطات كبيرة لتوليد الكهرباء لمواجهة الزيادة فى الاستهلاك .

وعلى الرغم من الاقتصاد فى استهلاك الطاقة إلا أن هناك ضرورة لزيادة عدد محطات توليد الكهرباء التى تعمل بالفحم، ومن الضرورى التخلص من غاز ثانى أكسيد الكربون المتصاعد منها، وذلك بتجميعه فى أسطوانات كبيرة تحت ضغط مرتفع وبيعه لشركات البترول، لكى تستخدمه فى رفع الضغط فى آبار البترول لكى يمكن استخلاص كل ما بها من نفط، وكلما زاد سعر النفط كلما زاد سعر ثانى أكسيد الكربون المضغوط فى أسطوانات .

ويمكن أيضاً التخلص من هذا الغاز بضخه فى أنابيب تصل إلى أعماق كبيرة فى مياه البحار فيذوب فى الماء ويتفاعل مع الأملاح الموجودة فى تلك المياه كما يمكن ضخه فى أعماق آبار البترول التى جفت ليتخلل الصخور ويبقى فيما بينها من فراغات .

لا تزال هناك وسائل أخرى للتخلص من الكربون المتصاعد إلى الجو عن طريق استخدام مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية، باستخدام الخلايا الشمسية، والمرايا العاكسة التى تركز أشعة الشمس لتسخين المياه وإدارة التربينات فى محطات توليد الكهرباء، وكذلك باستخدام الطاقة من المساقط المائية وطاقة الريح والطاقة الجيوحرارية التى تستغل فيها الطاقة الحرارية المخزونة فى باطن الأرض وغير ذلك .



شكل (١) رسم بيانى يبين أنه لو استمر تزايد غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو بمعدله الحالى فسوف يتضاعف مع حلول عام ٢٠٥٦، فإذا ما حاولنا حين إذن تخفيض الكميات المتصاعدة فإن تركيزه فى الجو سيكون ٥٦٠ جزءاً فى المليون وهو ضعف الكمية التى كانت موجودة فى الجو قبل بداية عصر التصنيع .

مفهوم مثلث الاستقرار :

يمكن تقسيم مثلث الاستقرار إلى سبع مثلثات كل منها يمثل خفضاً فى كمية ثانى أكسيد الكربون قدره ٢٥ بليون طن على مدى ٥٠ عاماً ويمكن اتخاذه كوحدة من حيث المقدار والفترة الزمنية لما يمكن لكل نوع من أنواع الأنشطة المستخدمة للطاقة أن تخفضه .

يبقى مصدر فى غاية الأهمية هو الطاقة النووية ويمكن استغلالها بدرجة كبيرة لو أمكن إيجاد وسائل جيدة للتخلص من النافايات النووية الناتجة عن تلك المفاعلات، وكذلك وسائل تحكم جيدة تمنع إمكان حدوث انفجارات فى المحطات النووية كما حدث فى مفاعلى تشرنوبل وثرى مايل أيلند، كما أن هناك مخاطر من انتشار استخدام الطاقة النووية وبناء المفاعلات تتمثل فى استغلالها لإنتاج الأسلحة النووية التى قد تقضى على الحضارة الإنسانية .

احتراق زيت البترول ينتج عنه ٤٣ ٪ من ثانى أكسيد الكربون على مستوى

العالم، واحتراق الفحم ينتج عنه ٣٧ ٪، والباقى ينتج عن الغاز الطبيعى، ونصف زيت البترول يستخدم فى وسائل النقل .

كيف يمكن التخلص من ثانى أكسيد الكربون المتصاعد من شكمانات السيارات ؟

وسائل النقل هى من أكثر العوامل التى تلوث الجو بغاز ثانى أكسيد الكربون فالسيارة التى تقطع ١٠٠٠٠ ميل فى السنة وكفاءتها ٣٠ ٪ وتستهلك جالون من المحروقات لكل ٣٠ ميل يتصاعد منها طن من الكربون كل عام، ويتوقع خبراء النقل أن يكون عدد السيارات بعد ٥٠ عاماً من الآن، أى فى عام ٢٠٥٦ حوالى ٢ بليون سيارة فى مختلف دول العالم. هذا العدد من السيارات سوف يتصاعد منها ٢ بليون طن من الكربون فى ذلك العام، أى عام ٢٠٥٦ .

وثانى أكسيد الكربون المتصاعد من شكمانات ملايين السيارات داخل المدن وعلى الطرق السريعة فلا سبيل لتجميعه فى أسطوانات. إذن لا مناص من استخدام وقود خالٍ من الكربون إذا كنا نريد إنقاص نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الهواء لمنع حدوث الكوارث البيئية التى سبق الحديث عنها .

وجد العلماء والباحثون فى شركات صناعة السيارات الكبرى مثل جنرال موتورز وتويوتا وهوندا وغيرها ضالتهم فى غاز الهيدروجين الذى يمكن استخدامه كوقود للسيارات خالى من الكربون ولا ينتج عن احتراقه سوى الماء الذى يخرج من ماسورة العادم .

١ - مستقبل استخدام الطاقة النووية في القرن الواحد والعشرين :

تعتبر الطاقة النووية من المصادر الرئيسية التى تمد العالم فى الوقت الحالى بسدس احتياجاته من الطاقة، وهى أكبر مصدر للطاقة الخالية من الكربون إلا أن استخدام الطاقة النووية كمصدر للطاقة لايزال يعانى من الذكريات المؤلمة لحادثتى تشرنوبل فى أكرانيا وثرى مايل أيلندز فى الولايات المتحدة، وذلك على الرغم من التقدم الكبير الذى حدث فى تصميم المفاعلات النووية لكى لا تحدث مثل تلك الكوارث .

إلا أن الخوف من استمرار تصاعد غازات الكربون إلى الجو، وأثر ذلك على ارتفاع درجة حرارة الأرض، جعل حكومات العديد من الدول وكذلك الشركات المسئولة عن توليد الطاقة الكهربائية تعيد النظر فى استخدام الطاقة النووية وبناء محطات جديدة لمواجهة الزيادة المضطردة فى استهلاك الطاقة دون إحداث تزايد فى الغازات الكربونية المتصاعدة إلى الجو .

وقبل أن نتناول الجهود الدولية فى هذا الصدد سوف نعطى فكرة مختصرة عن التفاعل النووى والمفاعلات النووية المستخدمة فى إنتاج الطاقة الكهربائية .

الانشطار النووي في عنصر اليورانيوم :

يوجد اليورانيوم فى الطبيعة على شكل نظيرين، أحدهما اليورانيوم – ٢٣٥ الذى يشكل ٠,٧ ٪ من اليورانيوم الطبيعى، والنظير الآخر هو اليورانيوم ٢٣٨ الذى يشكل ٩٩,٣ ٪ منه. اليورانيوم – ٢٣٥ يمتص النيوترونات البطيئة ليكون يورانيوم – ٢٣٦ الذى ينشطر بعد ذلك ليعطى عنصرين جديدين طبقاً للتفاعل النووى التالى :

$${}_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{92}U^{236} \rightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3\,{}_{0}n^{1} + 200\text{Mev} \quad (١)$$

وبدراسة المعادلة النووية (١) نلاحظ :

أولاً : انطلاق طاقة قدرها ٢٠٠ مليون إلكترون فولط نتيجة لانشطار ذرة واحدة من ذرات اليورانيوم ٢٣٥، وهذه الطاقة نتجت عن الفرق بين كتل النويات الناتجة من التفاعل النووى وكتل النويات الداخلة فى التفاعل .

وطبقاً لقانون تساوي الطاقة والكتلة لأينشتين وهو $E=\Delta mC^2$ حيث E مقدار الطاقة الناتج من تغير قدره Δm فى الكتلة و C هى سرعة الضوء .

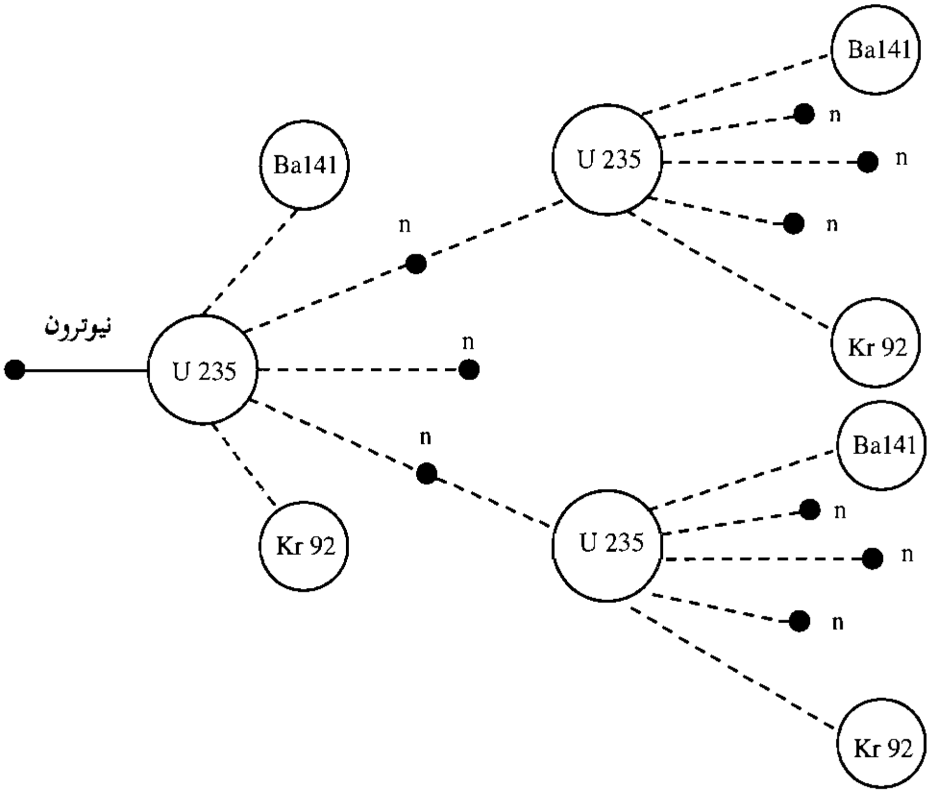
ثانياً : تكون ثلاث نيوترونات فى نواتج انشطار ذرة اليورانيوم، فلو فرضنا أن أحد هذه النيوترونات قد اصطدم بذرة يورانيوم أخرى فإن تفاعلاً مشابهاً سوف يحدث مرة أخرى وهكذا يستمر التفاعل الانشطارى فى الحدوث دون توقف؛ لأن أحد نواتج التفاعل يستخدم فى بدء التفاعل التالى إلى أن تنفذ كمية اليورانيوم – ٢٣٥ الموجودة فى التفاعل. أما إذا كان تركيز اليورانيوم – ٢٣٥ كبيراً بحيث تصادمت معها جميع النيوترونات الثلاثة الناتجة من التفاعل (١) فسوف نحصل على التفاعل

النووى التالى وهو الذى يؤدى إلى التفاعل التسلسلى .

$$_{92}U^{235} + 3_0n^1 + \rightarrow 9_0n^1 + 3_{56}Kr^{92} + 3_{56}Ba^{14} + 600\ Mev \quad (٢)$$

وفى هذا التفاعل قد نتجت تسعة نيوترونات جديدة وانطلقت طاقة تساوى ثلاثة أضعاف الطاقة فى التفاعل (١). ولو تكرر هذا التفاعل سنحصل فى الخطوة التالية على ٢٧ نيوترونًا و ١٨٠٠ مليون إلكترون فولت، وهكذا يتوالى التضاعف بسرعة ويحدث ما يسمى بالتفاعل التسلسلى Chain Reaction وفيه يكون معامل التضاعف أكبر من واحد .

والتفاعل التسلسلى يحدث بسرعة، وتتزايد كمية الطاقة الناتجة فى كل خطوة عن الخطوة السابقة لها فيتم ما يسمى بالانفجار النووى، وهو ما يحدث فى القنابل الذرية. ويشترط لحدوث التفاعل التسلسلى أن تكون كمية يورانيوم – ٢٣٥ فى الخام المستخدم عالية جدًا. أما اليورانيوم الموجود فى الطبيعة فهو يحتوى على نسبة عالية من يورانيوم –٢٣٨ وبه نسبة لا تتعدى ٠,٧ ٪ من يورانيوم – ٢٣٥ القابل للانشطار. ونظرًا لضعف تركيزه فإن التفاعل التسلسلى لا يمكن أن يتم فى الطبيعة شكل (٢) .

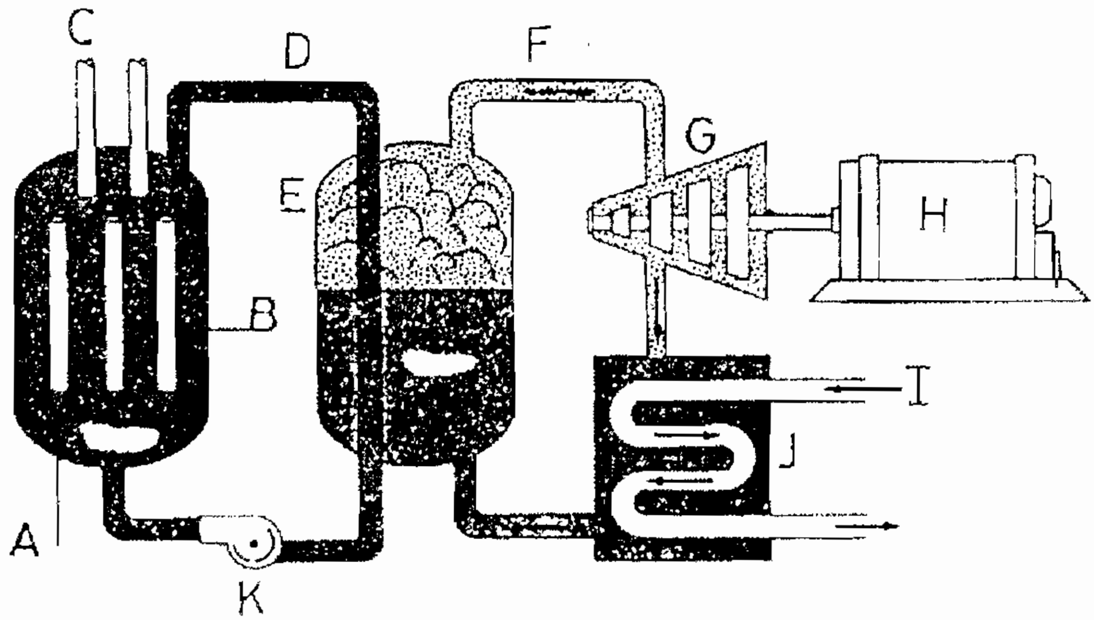


شكل (٢) التفاعل النووى التسلسلى فى ذرة اليورانيوم – ٢٣٥

المفاعــلات ذات التبريد بالمـاء تحـت ضغط مرتفع :

فى هذا النوع من المفاعلات شكل (٣) يمر ماء التبريد داخل المفاعل تحت ضغط حوالي ١٦٠ جو، فترتفع درجة حرارته دون أن يغلى. وهذا الماء الساخن ينتقل من المفاعل فى دائرة مغلقة إلى غلاى لتوليد البخار تحت ضغط مرتفع نسبيًا بحيث تصل درجة حرارته إلى حوالى ٣٥٠° س وهذا البخار يستخدم فى إدارة توربين توليد الكهرباء، ونظرًا لارتفاع درجة حرارته فإن كفاءة توليد الكهرباء ترتفع تبعًا لذلك. ومن مزايا هذا المفاعل كذلك أن الماء المستخدم فى تبريد المفاعل يمر فى دائرة مغلقة فلا يمكن أن يحدث تلوثًا لبخار الماء فى التوربين أو المكثف .

ولذلك فينتظر أن يعمم استخدام هذا النوع من المفاعلات؛ نظرًا لأن احتياطات الأمن من التلوث فيه كبيرة، وهو يستخدم فى الوقت الحالى فى الغواصات والسفن النووية .



شكل (٣) مفاعل يبرد بماء تحت ضغط مرتفع

A – قلب المفاعل – B – قضبان الوقود – C – قضبان التحكم – D – ماء التبريد تحت ضغط مرتفع – E – مبادل حرارى – F – بخار ماء – G – توربين – H – مولد كهرباء – I – ماء لتبريد المكثف – J – مكثف – K – مضخة لرفع ضغط ماء تبريد المفاعل .

عوامل الأمان فى المفاعلات النووية :

بعد حادثى مفاعل بنسلفانيا بالولايات المتحدة وتشرنوبل بأكرانيا بالاتحاد السوفيتى، دار جدل طويل حول مستقبل استخدام المفاعلات النووية فى توليد الطاقة، وازدادت مخاوف الناس من إمكان حدوث تلوث للبيئة بسبب هذه المفاعلات ولا سيما عند حدوث توقف مفاجئ في أجهزة التبريد كما حدث فى المفاعلين السابقين. وسوف يتضح من الحقائق التالية أنه لا داعى للقلق من ذلك عند استخدام أحد الأنواع الحديثة من المفاعلات، فهى أقل تلويثًا للبيئة من حرق البترول أو الفحم لتوليد الطاقة .

نفترض أنه لسبب ما ارتفعت درجة حرارة قلب المفاعل، عندئذ سيحدث ما يلى للتفاعل النووى الحادث به :

١ – ستقل كثافة الماء المستخدم للتبريد وتقل قدرته على تهدئة سرعة النيوترونات بالقدر الكافى لجعلها تنجح فى إحداث التفاعل النووى بامتصاصها فى يورانيوم – ٢٣٥ وبذلك يقل معامل التضاعف فيبطؤ التفاعل النووى .

٢ – عند ارتفاع درجة حرارة المفاعل تزداد قدرة اليورانيوم – ٢٣٨، وهو الذى يكون ٩٧ ٪ من اليورانيوم المستخدم فى المفاعل على امتصاص النيوترونات، وبذلك يتناقص عدد النيوترونات التى يمكنها أن تحدث انشطاراً فى اليورانيوم – ٢٣٥ وهذا يؤدى إلى إنقاص معامل التضاعف ويبطئ التفاعل النووى .

٣ – هناك عوامل أمان تتخذ عند بدء المفاعل فأشعة α يمكن إبطال مفعولها بسهولة بإحاطة قلب المفاعل المحتوى على الوقود النووى بأسطوانة من الصلب .

وهذا كافي لامتصاص هذه الأشعة، أما أشعة γ فهى تنفذ من هذه الأسطوانة وتحتاج إلى أسطوانة سميكة من الخرسانة ثم أسطوانة سميكة أخرى من الصلب وأسطوانة خارجية من البلاستيك. فإذا ما حدث وانصهر قلب المفاعل فإن هذه الأغلفة السميكة سوف تمنع تسرب أى مادة مشعة خارج المفاعل، وكذلك أى إشعاعات مثل أشعة γ .

ويبلغ تكاليف المفاعل النووى الذى يعطى واحد جيجاوات حوالى بليون دولار .

الجهود الدولية المبذولة لاستخدام الطاقة النووية :

الغاز الطبيعى والفحم والبترول كلها مصادر للطاقة، إلا أنها تزيد من تصاعد الغازات الكربونية. كما أن إيجاد تكنولوجيات لمنع تصاعد الغازات الكربونية للجو تزيد من تكلفة إنتاج الطاقة بالمقارنة بالطاقة النووية .

هذا بالإضافة إلي أن أسعار البترول والغاز الطبيعى فى تزايد مستمر، مما يجعل الاهتمام بإيجاد بدائل مناسبة أمراً ضروريًا. فى الوقت الحالى تنتج محطات الطاقة النووية حوالى ٢٠ جيجا واط من الكهرباء على مستوى العالم .

لعل أهم الصعوبات التى تعترض بناء المحطات النووية هى ارتفاع تكلفة الإنشاء وإيجاد طرق آمنة للتخلص من المخلفات النووية والخوف من انتشار المحطات النووية فى مختلف دول العالم، التى قد تستخدمها فى صناعة أسلحة نووية ولا يمكن السيطرة عليها .

فى إحدى الدراسات التى أجراها معهد ماساشوستس للتكنولوجيا (MIT) Massachusetts Institute of Technology عن مستقبل الطاقة النووية، تبين أن استخدام الطاقة النووية يمكن أن يمثل ثلاثة أمثال ما هو عليه الآن لتعطى مليون ميجاواط مع حلول عام ٢٠٥٠، وهذا يمنع تصاعد الكربون إلى الجو بمقدار من ٠,٨ إلى ١,٨ بليون طن من الكربون فى السنة، وذلك يعتمد على نوع الوقود الكربونى المستخدم .. هل هو غاز طبيعى أم فحم؟ كما بينت أن استخدام الطاقة النووية يمكن أن يساعد على إحداث استقرار فى كمية الكربون المتصاعدة إلى الجو. فمن المعروف أن حالة الاستقرار تستلزم التخلص من سبعة بلايين طن من الكربون المتصاعد إلى الجو كل عام؛ حتى لا تصل الكرة الأرضية إلى نقطة اللاعودة مع حلول ٢٠٥٠ كما سبق أن ذكرنا .

دورة الوقود النووى : Fuel Cycle

إذا كان من المقرر أن يزداد عدد المفاعلات النووية على مستوى العالم فلابد أن نقرر أى نوع من أنواع المفاعلات يمكن أن يكون أقل خطراً أو أكثر أماناً .

من الاعتبارات الهامة عند إتخاذ القرار باستخدام المفاعلات النووية أن نحدد نوع دورة الوقود .. هل هى دورة وقود مفتوحة Open Fuel Cycle أم دورة وقود مقفولة Closed Fuel Sycle ؟ فى دورة الوقود المفتوحة يتم استخدام اليورانيوم فى المفاعل مرة واحدة، واليورانيوم المستنفد بعد الاستخدام يحفظ فى أماكن خاصة لمنع تسرب الإشعاعات الضارة منه. إلا أن هذا الوقود المستنفد يحتوى على بعض البلاتنيوم الذى يمكن فصله وإعادة استخدامه فى مفاعل آخر، وإذا ما تم ذلك فسوف تكون دورة الوقود مقفولة، كما فى شكل (٤) .

والبلاتونيوم أحد نظائر اليورانيوم إلا أنه لا يوجد فى الطبيعة، ويرمز له بالرمز $_{92}U^{239}$، ويتم الحصول عليه فى المفاعلات النووية من $_{92}U^{238}$ عندما يتعرض لسيل من النيوترونات السريعة طبقاً للمعادلة النووية .

$$_{92}U^{238} + {}_0n^1 \text{ (سريع) } \rightarrow {}_{92}U^{239} \text{ (البلاتونيوم) } \quad (2)$$

ونصف عمر البلاتونيوم - ٢٣٩ يصل إلي ٢,٤ × ١٠^٤ سنة، لذلك يمكن تركه داخل المفاعل لفترة طويلة .

وعندما تصطدم ذرات البلاتونيوم بالنيوترونات السريعة داخل المفاعل يحدث

تفاعل نووى انشطارى شبيه بالتفاعل النووى الانشطارى الحادث لليورانيوم – ٢٣٥ الذى سبق توضيحه بمعادلة (١)، وتنتج عنه طاقة قدرتها 200Mev وهى طاقة مساوية للطاقة الناتجة عن انشطار اليورانيوم – ٢٣٥، كما أنه يعطى زوج من النيوترونات، أى أنه يستطيع القيام بتفاعل متسلسل مثل اليورانيوم – ٢٣٥ والذى سبق تناوله .

ومن الدول التى تستخدم الدورة المقفولة فرنسا، حيث يتم خلط البلاتونيوم بأكسيد اليورانيوم وإدخالهما فى المفاعل لتوليد الطاقة، وبذلك تطيل فترة استخدام الوقود فى المفاعل الذى يطلق عليه اسم المفاعل السريع Fast Reactor. وفى هذه الحالة، أى باستخدام الدورة المقفلة للوقود، يتم التخلص من المكونات ذات العمر النصفى الطويل مثل البلاتونيوم – ٢٣٩ بإدخالها فى المفاعل، وبذلك تقل المشاكل المتعلقة بحفظ المخلفات النووية الأخرى .

وإدارة المخلفات النووية ليعاد استخدامها فى دورة الوقود المقفلة؛ لها فوائد كثيرة منها : استخدام كمية أقل من الوقود الخام للحصول على نفس القدر من الطاقة، وكذلك عدم الحاجة إلى نقل وتخزين الوقود الذى سبق استخدامه، حيث إن المتبقى منه كمية قليلة يمكن حفظها فى مستودعات خاصة بتخزين النفايات النووية .

إلا أنه يفضل استخدام اليورانيوم الخام فى دورة الوقود المفتوحة، حيث إنه متوفر بكمية تكفى لعدة عقود قادمة، كما أنه أرخص من البلاتونيوم المستخلص من الوقود الذى سبق استخدامه. ومن ناحية الحفظ فإن الخطورة الناجمة عنه أقل من الخطورة الناجمة عن عمليات فصل البلاتوينوم، حيث إنها عملية معقدة وليست بسيطة، أضف إلى ذلك أن استخلاص البلاتونيوم يمكن أن يوجه إلى استخدامات عسكرية ولبناء قنابل نووية .

والنوع الأكثر شيوعًا من المفاعلات هو المفاعل الذى يستخدم الماء لعمليات التبريد، حيث إن التكنولوجيات الخاصة بتصنيعه أصبحت معروفة بدرجة كبيرة، وعوامل الأمان فيه كبيرة، وهو الموضح فى شكل (٣) .

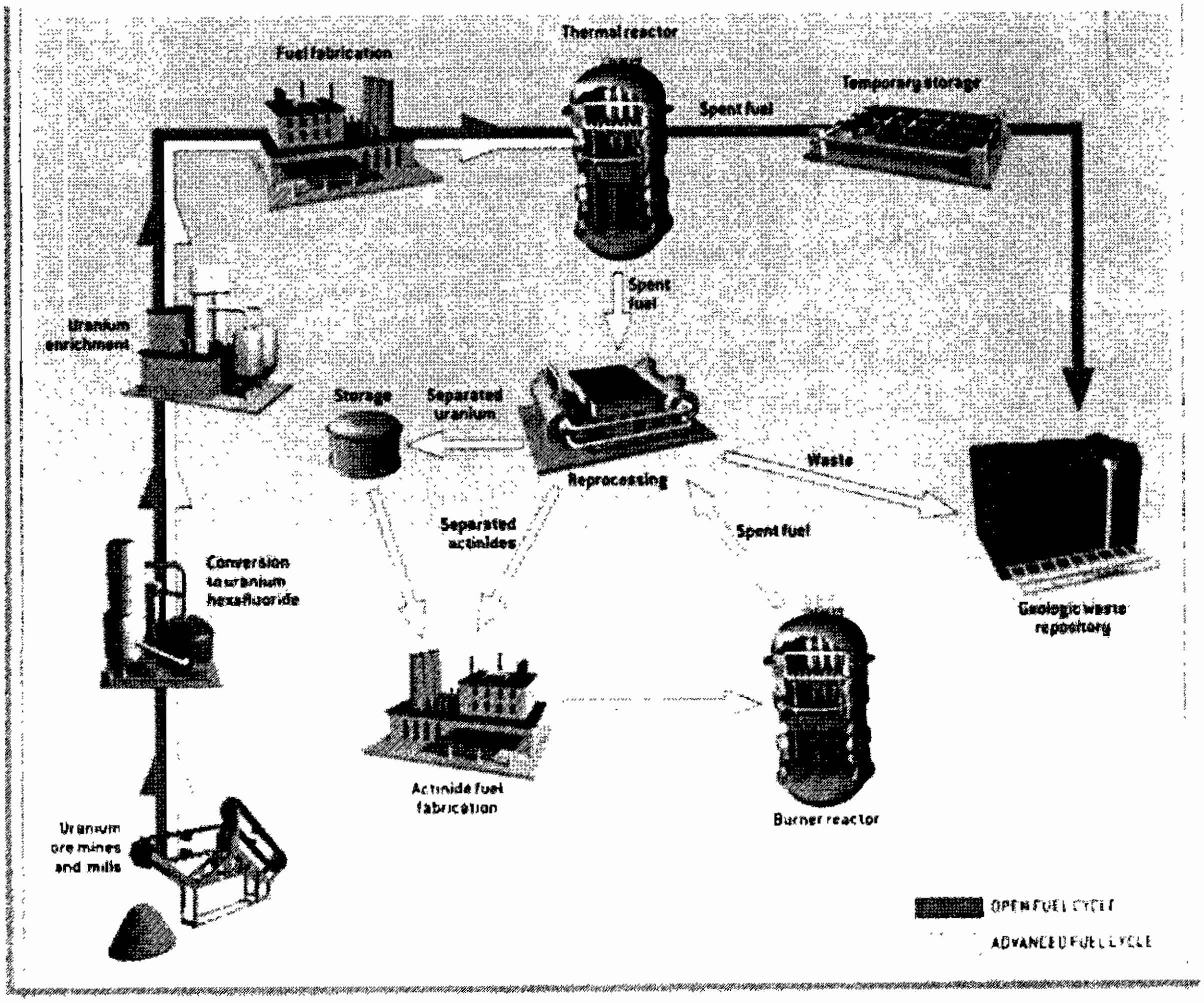
وتصميمات المفاعلات وتطورها مع الزمن جعلها تنتمى إلى عدة أجيال، فالجيل الأول هو النموذج الأول Prototype من المفاعلات وتم بناؤه فى الفترة من ١٩٥٠ إلى ١٩٦٠، والجيل الثانى هو المفاعلات التى تبنى للأغراض التجارية، وقد نفذ منها العديد من المفاعلات فى الفترة من ١٩٦٠ إلى ١٩٩٠، والجيل الثالث من المفاعلات قد أدخلت عليه العديد من التحسينات ولاسيما فى تكنولوجيا الوقود

وزيادة عوامل الأمان، بحيث إن المفاعل يتوقف تماماً إذا ارتفعت درجة حرارته عن الدرجة المحددة له، وقد بني أول مفاعل من هذا النوع عـام ١٩٩٦ فـى اليابان، أما الجيل الرابع فهو لايزال فى دور التجربة ولم يصل بعد إلى درجة الاستغلال التجارى.

وقد أصبح من الممكن بناء مفاعلات نووية صغيرة تنتج طاقة تصل إلى ١٠٠ ميجاواط وهى تصلح للاستخدام فى الدول النامية، حيث إنها ليست غالية الثمن. وتعتزم جنوب أفريقيا إنتاج مفاعلات تصل قدرتها إلى ١١٠ ميجاواط فى عام ٢٠٠٧، على أن يتم إنتاجها تجاريًا فى عام ٢٠١١، وتأمل أن تستطيع تسويقها عالميًا لا سيما فى أفريقيا .

دورة الوقود النووى

فى دورة الوقود المفتوحة بعد أن يستخدم اليورانيوم فى المفاعل يخزن اليورانيوم المستنفذ فى مخزن مؤقت حتى يتم نقله إلى خزان مستديم، كما فى الشكل (٤)، فى المفاعلات التى تعمل بنظام الدورة المغلقة يستخلص البلاتونيوم من الوقود المستنفذ ليعاد استخدامه مع يورانيوم جديد فى مفاعل سريع. وفى المستقبل ينتظر تجهيز الوقود الأكتينيدى (خليط من البلاتونيوم واليورانيوم) ثم إعادة استخدامه فى المفاعل وهو المبين فى الشكل بالأسهم البيضاء، أما الأسهم السوداء فهى تعبر عن دورة اليورانيوم المفتوحة .



شكل ٤)

خفض سعر الطاقة المتولدة من المفاعلات النووية :

تصل تكلفة الكيلوواط ساعة من الطاقة المتولدة من المفاعلات النووية طبقاً لتقديرات معهد ماساشوستس للتكنولوجيا MIT حوالي ٧,٦ سنت شاملة تكلفة إنشاء المفاعل وتكلفة تشغيله، بينما الكيلوواط – ساعة الناتج عن المحطات التى تعمل بالفحم أو الغاز الطبيعى يتكلف ٤,٢ سنت. ومع الزيادة المضطردة لأسعار الغاز الطبيعى قد يصل سعر الكيلوواط – ساعة إلى ٥,٨ سنت، ومن المحتمل أن ينخفض سعر الكيلوواط ساعة المنتج من المحطات النووية لو انخفض سعر إنشاء تلك المحطات بمقدار ٢٥ ٪، وذلك فى حالة إنشاء أعداد كبيرة من المحطات التى لها نفس التصميم. إلا أن الطاقة النووية سوف تكون مساوية من حيث التكلفة للطاقة الناتجة عن المحطات التى تعمل بالوقود الكربونى فى حالة دفع ضريبة على الكربون المتصاعد من تلك المحطات. فلو فرضت ضريبة قدرها ٥٠ دولار لكل طن من الكربون المتصاعد إلى الجو سيصل سعر الكيلوواط ساعة من تلك المحطات إلى ٥,٤ سنت .

ولو أرادت تلك المحطات ألا تدفع تلك الضريبة فعليها أن تمنع وصول غاز ثانى أكسيد الكربون إلى الجو بتجميعه فى أنابيب أو أسطوانات تحت ضغط مرتفع وتبيعه لشركات البترول لتستخدمه فى رفع الضغط داخل آبار البترول التى بدأت تنضب لتستخرج ما تبقى بها، أو مد الأنابيب التى تجمع فيها الغاز إلى أعماق البحار ليذوب فى الماء ويتفاعل مع ما بها من أملاح، وهذه الأعمال سترفع من سعر الكيلوواط ساعة الناتج عن محطات الكهرباء التى تعمل بالوقود الكربونى إلى أكثر من خمسة سنتات .

إدارة مخلفات المحطات النووية :

انتشار استخدام المحطات النووية لتوليد الكهرباء تواجه مشكلة عويصة هى كيفية التخلص من المخلفات النووية التى تنتج عن استخدام اليورانيوم فى تلك المفاعلات، ولاسيما أن تلك المخلفات ذات عمر طويل وعالية الإشعاع، ومستودعات النفايات الجيولوجية تعتبر من أكثر الطرق أمناً لحفظ تلك المخلفات، وفيها تودع تلك النفايات فى غرف على عمق مئات الأمتار تحت سطح الأرض، شريطة أن لا تصل إلى مجارى المياه الجوفية. ومن الأهمية بمكان عدم تآكل الحاويات الضخمة التى توضع فيها تلك النفايات بفعل الصخور التى تنحت فيها تلك الغرف تحت سطح الأرض. وقد أثبتت الدراسات التى أجريت على تلك الطريقة جدواها وصلاحيتها وقدرتها على منع تسرب الإشعاعات أو النيوكليدات إلى الجو أو إلى المياه الجوفية .

إلا أن الولايات المتحدة لا تزال تبحث عن المكان المناسب لهذا الغرض فى أحد الجبال بصحراء نفادا. فى فنلندا تم بناء مستودع على عمق ٥٠٠م تحت سطح الأرض، وتجرى عليه الدرسات من حيث طبيعة الصخور ومسارات المياه الجوفية،

واختبار تكنولوجيات حفظ المخلفات النووية تحت سطح الأرض، ويطلق على هذا المشروع اسم Onkalo Project .

الخوف من الانتشار النووي :

في الوقت الحالي تبذل الجهود لوضع نظام دولي لتداول المواد النووية بين الدول المانحة لها والدول المستخدمة لها. فالدول المانحة لها مثل الولايات المتحدة وروسيا وفرنسا والمملكة المتحدة ستبيع الوقود الخام إلى الدول المستخدمة له لاستخدامه في برامج نووية سلمية بنظام دورة الوقود المفتوحة، بحيث يتم تسليم الوقود الذي تم استخدامه في مفاعلات تلك الدول مرة أخرى إلى الدولة المانح، وتتسلم منها كمية أخرى بديلة. وبهذه الطريقة تتلاشى المخاوف من عمليات إثراء اليورانيوم بهدف استغلاله في الأسلحة النووية، كما يحدث في إيران حالياً. وليست إيران هي المثل الوحيد فهناك البرازيل أيضاً تقوم حالياً بتخصيب اليورانيوم بهدف استخدامه في المفاعلين الكبيرين بها .

إنتاج الطاقة بواسطة المفاعلات النووية لتصل إلى تيراواط :

للإقلال من معدل تصاعد الغازات الكربونية في نصف القرن القادم، أي حتى عام ٢٠٥٦ ، لابد من توفير ما يقرب من تيراواط من القدرة الكهربائية عن طريق المحطات النووية، وهو ما يلاشي مثلث أو اثنين من مثلثات الاتزان الموضحة في شكل (١) .

إلا أن توفير هذا القدر يعتبر تحدياً حقيقيًّا، فالمطلوب إنشاء مفاعلات جديدة تعطي زيادة بمعدل ٢٠٠٠ ميجاواط شهريًّا وهو ما يكلف ٢ ترليون دولار لعدة عقود. وكذلك البحث عن وسائل للتخلص من النفايات الذرية، ووضع ضوابط صارمة لمنع انتشار استخدام اليورانيوم في الأغراض الحربية، وفرض ضريبة على الكربون المتصاعد إلى الجو كغازات كربونية على الدول الصناعية الكبرى، وكذلك على الدول الآخذة في النمو الاقتصادي مثل الصين والهند والبرازيل .

فإذا كان المطلوب توفير تيراواط من القدرة الكهربائية عن طريق المحطات النووية على مستوى العالم، فإن ذلك يعني أن تقوم دولة مثل الولايات المتحدة برفع قدرتها من الطاقة من المفاعالات النووية بما يساوي ٣٠٠ جيجاواط سنويًّا حتى عام ٢٠٥٦.

٢-١ مستقبل الطاقة الشمسية الحرارية والضوئية

استغـــلال الطاقـــة الشمســية الضوئية

الخلايا الشمسية أو الفوتوفلطية :

مقدمة : تحتوى الخلايا الشمسية على مواد شبه موصلة لتحويل الطاقة الضوئية للشمس إلى طاقة كهربائية. فى الوقت الحالى نظراً لارتفاع ثمنها وضعف كفاءتها لا تضيف لما ينتجه العالم من طاقة كهربائية إلا قدراً يسيراً لا يتعدى ٥ جيجاوات وهو يمثل ٠,٠٤ ٪ من الطاقة المنتجة عالميًا. إلا أن الطاقة الضوئية للشمس يمكنها أن تعطى العالم ٥٠٠٠ مرة قدر ما يحتاجه .

نتج عن التقدم التكنولوجى تحسن خواص تلك الخلايا وانخفاض سعرها، مما شجع على زيادة ما تعطيه من كهرباء. ففى العقد الأخير زادت نسبة الإنتاج بمقدار ٢٥ ٪ سنويًا وفى عام ٢٠٠٥ زاد الإنتاج بنسبة ٤٥ ٪. لقد ساهمت الخلايا التى تم تصنيعها فى العام الماضى فى زيادة القدرة الكهربائية بمقدار ١٧٢٧ ميجاوات أضيفت للإنتاج العالمى للطاقة، منها ٨٣٣ ميجاوات فى اليابان و ٣٥٣ ميجاوات فى ألمانيا و ١٥٣ ميجاوات فى الولايات المتحدة .

فى الوقت الحالى يتم تصنيع الخلايا الشمسية من العديد من المواد منها : شرائح السليكون المتبلور الذى لا زال يستخدم بدرجة كبيرة فى تصنيع الخلايا، ومن أغشية رقيقة من السليكون ومنتجات أخرى مكونة من البلاستيك أو مركبات عضوية شبه موصلة، والخلايا الفوتوفلطية المصنوعة من السليكون غير المتبلور أرخص في إنتاجها من تلك المصنوعة من السليكون المتبلور إلا أنها أقل كفاءة فى تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية .

وتبلغ كفاءة الخلايا الشمسية المنتجة صناعيًا من ١٥ ٪ إلى ٢٠ ٪ ، ولاتزال البحوث جارية للارتفاع بتلك الكفاءة إلى ٣٠ ٪ .

ومن السهل استخدام الخلايا الشمسية، فيمكن وضعها فى مصفوفات فوق أسطح المنازل وفى مجموعات كبيرة من الخلايا فى الصحراء التى لا تصلها شبكة كهرباء وبها تجمعات من السكان أو بها بعض المعسكرات .

نظرية عمل الخلايا الفوتوفلطية :

تتكون الخلايا الشمسية من وصلة ثنائية (موجبة – سالبة) والوصلة الموجبة تتكون من شريحة مأخوذة من بلورة السليكون الأحادية مضافًا إليها بعض الشوائب من عنصر ثلاثى التكافؤ مثل البورون، أما الوصلة السالبة فهى أيضاً من السليكون النقى ويضاف إليها بعض الشوائب لعنصر خماسى التكافؤ مثل الفوسفور، كما نعلم من نظرية أشباه الموصلات لو كونا خلية من هاتين الشريحتين كما فى شكل (٥)

ثم سقط شعاع ضوئى على الشريحة السالبة فإن طاقة الفوتونات تنتقل إلى الإلكترونات الموجودة فى منطقة التكافؤ فتكسبها طاقة تكفى لنقلها إلى منطقة التوصيل بالشريحة السالبة. أما الفجوات الموجبة فإنها تنتقل إلى منطقة التوصيل بالشريحة الموجبة. وبذلك يتكون فرق جهد بين سطحى الوصلة الثنائية فلو وصلنا ما بين سطحيهما بموصل كهربى فإن تياراً كهربياً سوف يمر فى هـــذه الدائرة شكل (٦)، ويصل فرق الجهد بين السطحين إلى ٠,٦ فولت، وتمر الإلكترونات من الوصلة السالبة إلى الوصلة الموجبة فى الدائرة الخارجية. وهكذا تتحول الطاقة الضوئية أى طاقة الفوتونات الساقطة على الخلية إلى طاقة كهربية .

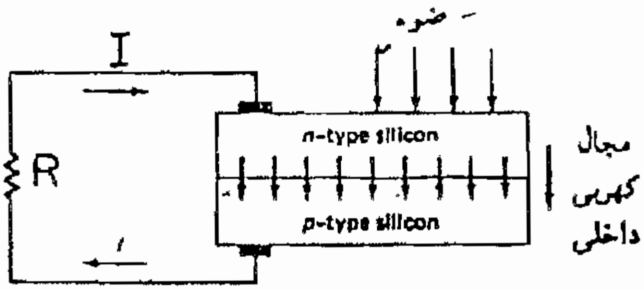
ويمكن حساب طاقة الفوتون من استخدام معادلة بلانك وهى :

$$E = h\nu$$

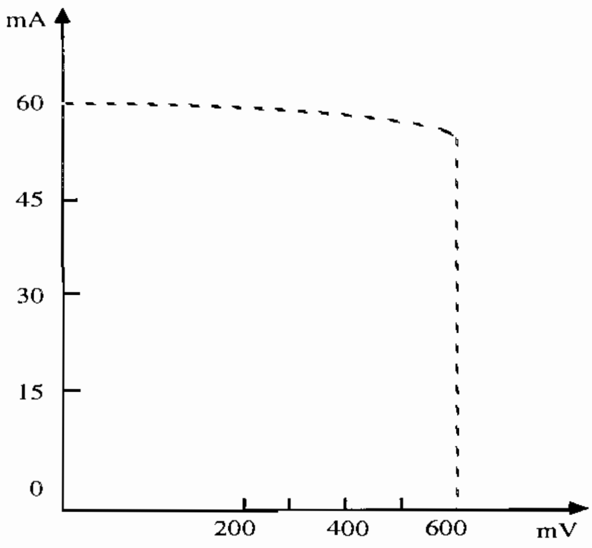
حيث E طاقة الفوتون ، ν هو التردد، h ثابت بلانك للإشعاع .

يوضح المنحنى شكل (٦) خواص خلية السليكون الكهربية، ومنه يتضح أن أعلى شدة تيار يمكن الحصول عليه هو ٠,٠٧ أمبير وأعلى جهد هو ٠,٦ فولط وذلك عندما تكون الدائرة الخارجية مفتوحة، أى أن أعلى قدرة كهربية يمكن الحصول عليها من هذه الخلايا لايتعدى ٠,٠٤ واط، أى ٤٠٠ مليواط وذلك طبقاً للمعادلة :

القدرة الكهربية = التيار × فرق الجهد = ٠,٠٧ × ٠,٦ = ٠,٠٤ واط



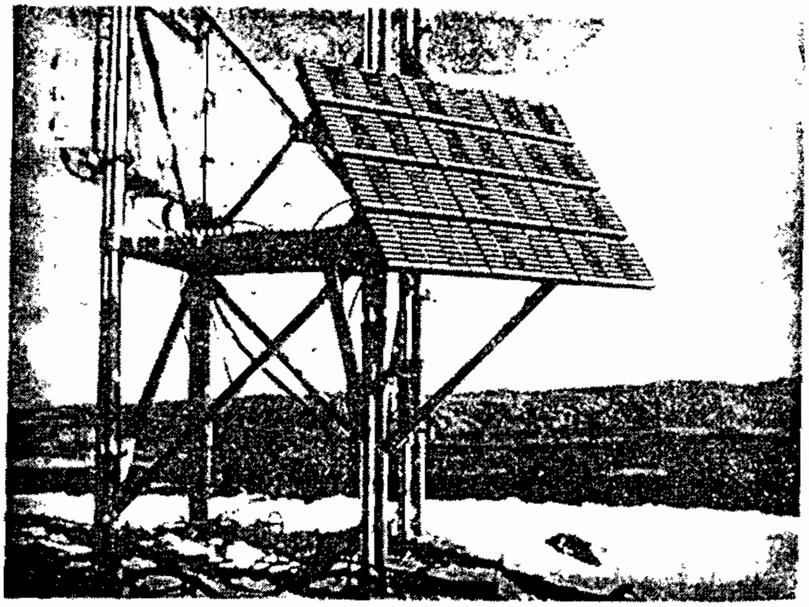
شكل (٥) خلية شمسية (خلية فوتوفولتية)
مكونة من وصلة ثنائية (p-n)



شكل (٦) منحنى القدرة للخلايا الشمسية

إذن لكى نحصل على قدرة كهربية قدرها ٥٠٠ واط لتشغيل مضخة فإننا نحتاج إلى مصفوفة بها مئات الخلايا الشمسية، شكل (٧). وتتكون مصفوفات الخلايا الشمسية Solar Array من مجموعة كبيرة من الخلايا متصلة ببعضها على التوالى والتوازى، والعدد المتصل على التوالى يحدد جهد المصفوفة، والعدد المتصل على التوازى يحدد شدة التيار. ومساحة المصفوفة ١ م^{٢} وتعطى تياراً قدره ٤ أمبير وقوة دافعة كهربية ١٢ فولط. أى أن قدرتها الكهربية ٤٨ واط. ولذلك فلكى نغذى موتور قدره ٤/١ حصان، أى ١٨٧ واط، نحتاج إلى ٤ مصفوفات مساحة كل منها ١ متر مربع وتحتوى على ٥٠٠٠ خلية شمسية متصلة مع بعضها على التوازى والتوالى لكى نحصل على التيار المطلوب والقوة الدافعة المطلوبة .

وتستخـــدم المصفوفـــات الشمسية فى مراكب الفضاء والأقمار الصناعية لتغذيتها بالطاقة الكهربية اللازمة لها وتركب على شكل أجنحة كبيرة حول القمر الصناعى .



شكل (٧) مصفوفات من الخلايا الشمسية لتشغيل آلة أو وحدة تحكم

كفاءة الخلايا الشمسية المصنوعة من السليكون :

تصل كفاءة الخلايا الشمسية المصنوعة من السليكون إلى ١٨ ٪ ، وهذه الكفاءة تحددها عدة عوامل أهمها :

١ - الجزء من الطيف الشمسي ذو الطول الموجى أكبر من ١,١٥ ميكرومتر، وهو يكون ٢٥ ٪ من الطاقة الشمسية ليس لفوتوناته طاقة كافية لنقل الإلكترونات من منطقة التكافؤ إلى منطقة التوصيل بوصلة السليكون الثنائية. فكما ذكرنا طاقة الفوتون تتناسب مع الطول الموجى للإشعاع طبقًا لمعادلة بلانك $E=h\nu$ فإذا كان الطول الموجى ٣×١٠^{-٦} ميكرومتر مثلاً يكون التردد ١×١٠^{١٤} هرتز، والطاقة تساوي $٠,٦٦ \times ١٠^{-١٩}$ جول، وهى أقل من الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون عبر منطقة التكافؤ $١,٧٣ \times ١٠^{-١٩}$ جول .

٢ - الإشعاعات ذات الأطوال الموجية القصيرة تكون طاقة فوتوناتها أكبر من الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون إلى منطقة التوصيل فى السليكون، وهى $١,٧٣ \times ١٠^{-١٩}$ جول، وتتحول الطاقة الزائدة إلى حرارة، ولا ينتفع بها فى نقل الإلكترونات، وهذه الحرارة تقلل من كفاءة الخلية الشمسية .

٣ - جزء كبير من الطاقة الساقطة على مصفوفات الخلايا تنعكس من على السطح أو تمر خلال المصفوفات دون أن تمتص، كل هذه العوامل هى التى حددت كفاءة خلايا السليكون بما لا يزيد عن ١٨ ٪ .

الجهود المبذولة لخفض اسعار الكهرباء المنتجة بالخلايا الفوتوفلطية :

لعل التحدى الأكبر فى استخدام الخلايا الشمسية يتمثل فى العمل على خفض سعر ما تنتجه تلك الخلايا من الكهرباء حيث إنه مرتفع فى الوقت الحالى فسعر الكيلوات ساعة المنتج من تلك الخلايا فى الوقت الحالى يصل إلى ٢٥ سنتاً، بينما يصل سعر الكيلوات ساعة المنتج من المحطات التى تعمل بالفحم من أربعة إلى ستة سنتات، والتى تعمل بالغاز الطبيعى تصل من ٥ إلى ٧ سنتات. ولحسن الحظ أن سعر الخلايا الشمسية قد هبط فى الآونة الأخيرة نظراً لتحسين طرق الإنتاج، ففى اليابان حيث ينتج ٢٩٠ ميجاوات باستخدام الخلايا الشمسية هبط سعر إنتاج الخلايا الشمسية بمعدل ٨ ٪ سنويًا وفى كاليفورنيا حيث تنتج حاليًا ٥٠ ميجاوات بالخلايا الشمسية سوف يهبط سعر تكلفة إنتاج تلك الخلايا بمعدل ٥ ٪ سنويًا .

ولعل كينيا هى أكبر دولة فى العالم تستخدم الخلايا الشمسية وبها ما يقرب من ٣٠٠٠٠ وحدة صغيرة لتوليد الطاقة الكهربائية كل منها ينتج من ١٢ إلى ٣٠ واط يتم شراؤها سنويًا بسعر ١٠٠ دولار للمصفوفة الكاملة .

والمصفوفة تكفى لشحن بطارية سيارة أو لإنارة لمبة فلوريسنت أو لتشغيل تلفزيون لبضع ساعات. وعدد كبير من الكينيين يستخدمون تلك المصفوفات لأن شبكة الكهرباء لا تصل إلى قُراهم. ومصفوفات الخلايا الشمسية المصنوعة من السليكون غير المتبلور يصل سعرها إلى نصف سعر الخلايا المصنوعة من السليكون المتبلور، إلا أن كفاءتها فى تحويل الطاقة الضوئية للشمس أقل، ويمكن أن يستخدمها ما يقرب من ٢ بليون شخص على مستوى العالم ولاسيما من لا تصلهم شبكات الكهرباء .

المركبات البديلة للسليكون فى صناعة الخلايا الشمسية :

هناك محاولات كثيرة لإيجاد مواد أرخص من السليكون لصناعة الخلايا الشمسية وتكون أعلى كفاءة. ومن المركبات ذات الكفاءة العالية فى تصنيع هذه الخلايا هى الجاليوم أرسينيد، فأشعة الشمس تمتص به على عمق ١-٢ ميكرون من السطح بينما فى السليكون تحتاج إلى عمق يصل إلى ١٠٠-٢٠٠ ميكرون. ولذلك يمكن استخدام سمك قليل من مادة الجاليوم أرسينيد فى كل خلية مما يقلل من التكلفة. كما أن كفاءة هذه المادة أعلى من السليكون، فالطاقة اللازمة لنقل الإلكترون من منطقة التكافؤ إلى منطقة التوصيل تصل إلى ١,٣٥ إلكترون فولت أى ٢,٢ × ١٠$^{-١٩}$ جول، وهى قريبة من طاقة الفوتون فى المنطقة المرئية من الطيف الشمسى والتى تحمل كما سبق أن ذكرنا القدر الأكبر من الطاقة الشمسية. كما أن خلايا الجاليوم أرسينيد تعمل عند درجات حرارة مرتفعة دون أن تقل كفاءتها، وبذلك يمكن استخدام مرايا مقعرة لتركيز أشعة الشمس مما يقلل من المساحة المطلوبة .

مما سبق يتضح أن الخلايا المصنوعة من الجاليوم أرسينيد لها ثلاث ميزات : الأولى كفاءتها العالية فى تحويل الطاقة الشمسية إلى كهربية تصل إلى ١٩ ٪ ، والثانية استخدام مساحات صغيرة نظراً لإمكان استخدام مرايا لتركيز الطاقة الشمسية والثالثة استخدام سمك صغير من الجاليوم أرسينيد. كل هذه المميزات تجعل هذه المادة مناسبة جداً لتصنيع الخلايا الشمسية على مستوى تجارى وأرخص من خلايا السليكون. إلا أن هذا النوع من الخلايا لا يتحمل التغيرات الجوية ويحتاج إلى استبدال من وقت لآخر .

وهناك مجموعة كبيرة من أشباه الموصلات تجرى محاولة استخدامها فى عمل الخلايا الشمسية على أن تكون عالية الكفاءة ولها قدرة تحمل كبيرة للعوامل الجوية. ومن هذه المواد الكادميوم تلريد Cd Te والكادميوم سلفيد $(Cu_2\text{-}S)$ Cd S وغير ذلك .

الخلايا الشمسية النانوتكنولوجية
Nano-Tech Solar Cells

فى الوقت الحالى يصل ما تقدمه جميع الخلايا الشمسية على مستوى العالم بعد حوالى ٥٠ سنة من إنتاجها وتوزيعها تجاريًا حوالى ٥ جيجاواط أى ما يعادل ٠,٠٣٨ ٪ من الطاقة المنتجة عالميًا، مما يجعل هذه التكنولوجيا عديمة العائد .

إلا أن التكنولوجيات الحديثة قد تحسن من وضع الخلايا الفوتوفلطية وتزيد من أهميتها. يبحث العلماء عن مواد جديدة يمكنها أن تزيد من الأطوال الموجة لأشعة الشمس المستفاد منها بواسطة تلك الخلايا، ومن ثم تزداد كفاءتها ويقل سعرها. فكفاءة الخلايا الشمسية المصنوعة من السليكون، كما ذكرنا، لا تتعدى ٢٠ ٪ . اكتشف العلماء مواداً جديدة تُرصّع بنقط كمية quantum dots يمكنها أن تضاعف تلك الكفاءة وأبعاد كل من تلك النقط أقل من ١٠ أجزاء من بليون من المتر. عندما تتعرض تلك النقط لأشعة الشمس يمكنها أن تمتص نسبة كبيرة من الأشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة المتاحة فى أشعة الشمس، فيزداد التيار الكهربائي الصادر عن الخلية. ويدرس الباحثون فى الوقت الحالى عناصر جديدة صديقة للبيئة لاستخدامها فى صنع النقط الكمية خلاف عناصر الرصاص والسلينيوم والكادميوم الضارة بصحة الإنسان، ومن المنتظر أن تساعد الجسيمات النانوسكوبية فى تخفيض سعر القدرة الكهربائية الناتجة عن الخلايا الفوتوفلطية وبالقرب من سان فرنسيسكو تقوم شركة نانوسولار Nanosolar ببناء مصنع ينتج ٢٠٠ مليون خلية فوتوفلطية فى السنة بطبع نقط نانوسكوبية من ثنائى سلفيد النحاس - إنديوم - جاليوم Cu-In-Ga diselenide على فيلم رقيق جداً من السليكون، وهذا الفيلم يقوم بامتصاص أشعة الشمس وتحويلها إلى كهرباء بكفاءة عالية، بحيث ينتظر أن يصل ثمن إنتاج الخلية إلى ٥٠ سنتاً للواط .

لقد تنبهت العديد من الشركات إلى أهمية تطوير الخلايا الفوتوفلطية فشركة بريتشن بتروليم BP أبرمت عقداً مع معهد كاليفورنيا التكنولوجى لتصنيع خلايا عالية الكفاءة مصنوعة من قضبان نانوسكوبية .

استخدام الطاقة الضوئية الشمسية الفضائية في توليد الكهرباء

Space Solar Power

المحطة الفضائية لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية - مشروع جليسر :

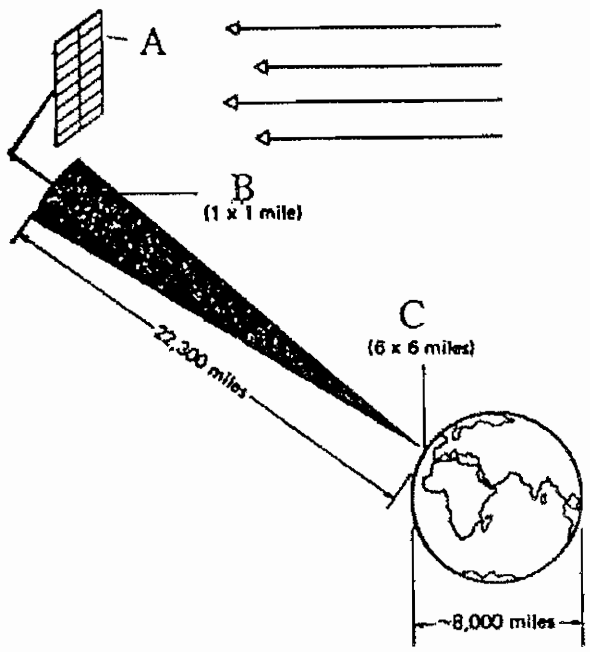
Solar Satellite Power Station (SSPS)

فى عام ١٩٦٨ رأى العالم بيتر جليسر Dr. Peter Glaser بشركة آرثر ليتيل Arthur D. Little الأمريكية أن يتخلص من مشكلتين هامتين من مشاكل استغلال الطاقة الشمسية هما عدم توافرها بالليل وفى الأيام الغائمة وكذلك امتصاص الغلاف الجوى لنسبة كبيرة منها، وذلك بأن يضع عدداً كبيراً من مصفوفات الخلايا الشمسية فى الفضاء وعلى بعد ٢٢٣٠٠ ميل من سطح الأرض، كما هو موضح فى شكل (٩)، وهذه تتحرك فى مدارها حول الأرض بحيث تبقى دائماً فوق نقطة ثابتة محددة على سطح الأرض وتتجه دائماً نحو الشمس، وتبلغ مساحة هذه المحطة ٣٠ كم٢ ويمكنها أن تعطى ٩,٣ جيجاوات (٩,٣ × ١٠^٩ واط) من الكهرباء. والكهرباء التى تولدها المحطة تنقل إلى الأرض على شكل موجات ميكرونية طولها الموجى ١٢ سم. وهذا ممكن فكما ذكرنا سابقاً فإن الغلاف الجوى يسمح بنفاذ الموجات الميكرونية بهذا الطول الموجى، وتستقبل الموجات الميكرونية هذه على سطح الأرض بواسطة هوائيات ضخمة تشغل مساحة يبلغ قطرها ١٠ كيلومترات وتستطيع أن تستقبل ٩٠ ٪ من الطاقة الكهربائية .

يعاد تحويل هذه الطاقة بعد ذلك إلى تيار كهربى متردد يغذى الشبكة الكهربية بما يقرب من ٥ جيجاوات من الكهرباء. ويبلغ وزن المحطة الفضائية ١,٨ ألف طن، ويتوقف نجاح هذا المشروع على الطريقة التى سيتم بها نقل هذه المحطة وتركيبها فى الفضاء. ويحتمل أن يستخدم المكوك الفضائى فى هذه المهمة .

وتبلغ تكالف هذا المشروع ١٠ بلايين دولار، وعلى الرغم من ضخامة التكاليف واحتمال فشل المشروع إلا أن العديد من الشركات الأمريكية الكبيرة مثل بوينج وروكويل تتعاون مع شركة ليتيل وناسا NASA فى دراسة هذا المشروع .

بدت الفكرة معقولة وقابلة للتطبيق إلا أن انخفاض أسعار الطاقة البترولية فى السبعينات قللت الاهتمام بمشروعات الطاقة الشمسية، وكان ذلك هو نهاية المشروع .



شكل (٩) محطة جليسر الفضائية
- A - مجمع الخلايا الشمسية ٥ × ٥ ميل - B - مرسل الموجات الميكرونية
- C - هوائى لاستقبال الموجات على الأرض

إلا أن استغلال الطاقة الشمسية من الفضاء Space Solar Power (SSP) ظلت فكرة تراود العلماء، فمصفوفات الخلايا الموضوعة فى مدار ثابت فوق موقع على سطح الأرض ستظل دائماً مواجهة للشمس حيث تكون شدتها ٨ أضعاف شدتها على سطح الأرض، كما أن قدرتها الكهربائية تظل ثابتة ويمكن توصيلها بشبكة كهرباء المدينة. والقدرة الكهربائية القادمة إلى الأرض من الخلايا الشمسية الفضائية تكون على شكل موجات ميكرونية تستقبلها هوائيات على مساحة تصل إلى ١٠ كم٢ فوق سطح الأرض وتحولها إلى تيار كهربائى بكفاءة تصل إلى ٩٠ ٪ .

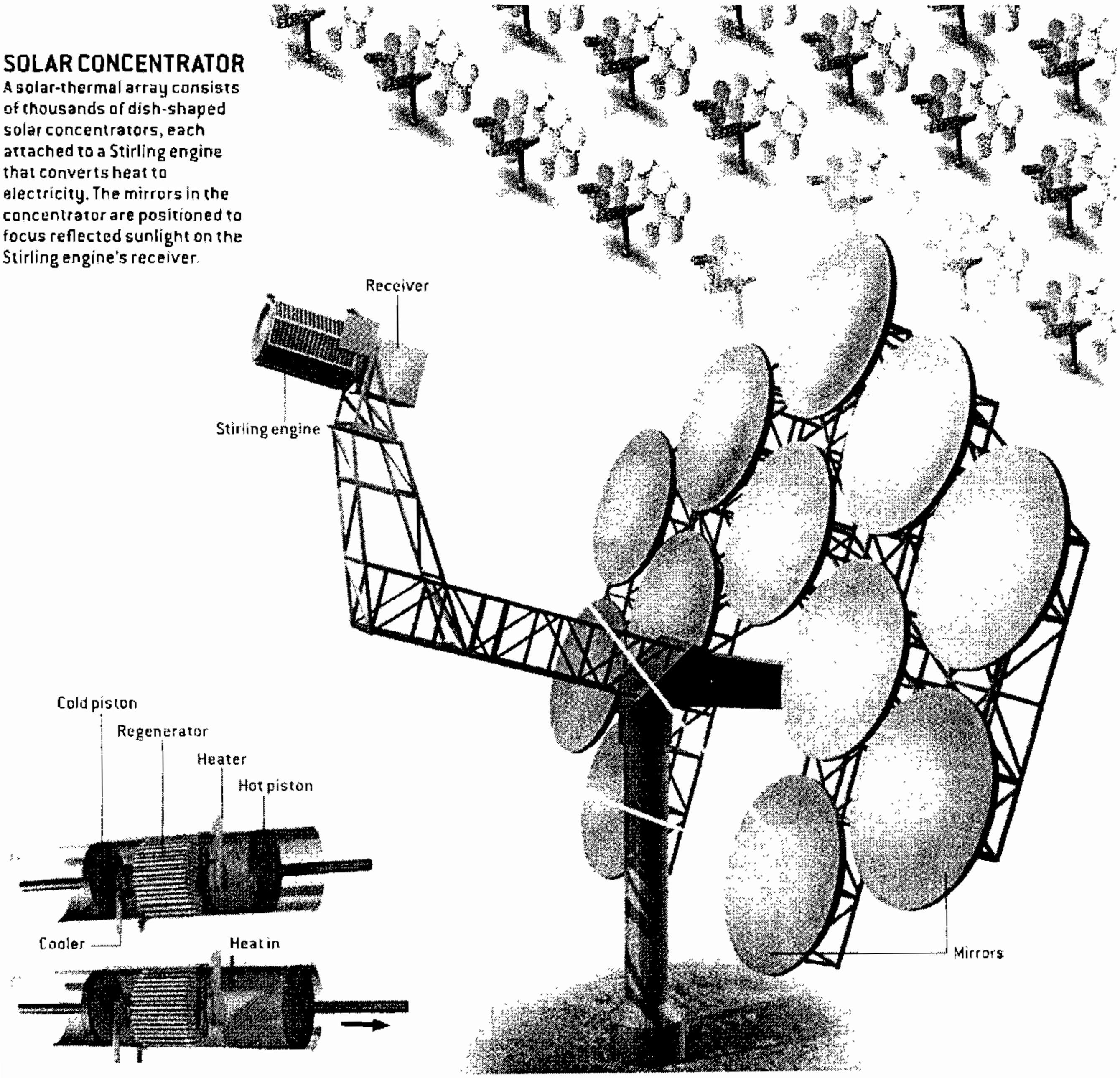
ويرى هوفرت Hoffert أحد المهتمين بهذا المشروع أن استغلال الطاقة الشمسية الفضائية SSP من حيث التكلفة وإمكانية التنفيذ أفضل من مشروع الطاقة الاندماجية التى اعتمدت له الحكومة ١٠ بلايين دولار .

قامت ناسا NASA بدراسة وتقييم بعض مشروعات الطاقة الشمسية الفضائية، وقد استفادت التصميمات الحديثة من التقدم العلمى الذى طرأ على الخلايا الشمسية باستخدام الأغشية الرقيقة الفوتوفلطية واستخدام الموصلات الفائقة فى درجات الحرارة المرتفعة لنقلها، ثم تحويلها إلى أشعة ميكرونية لإرسالها إلى المحطات الأرضية، ومن الممكن كذلك استخدام أشعة الليزر فى المنطقة تحت الحمراء ، وباستخدام التكنولوجيات الحديثة High-tech تمكن مهندسو الطاقة الشمسية الفضائية من تخفيف وزن المنظومة، ومن ثم تقل التكاليف الخاصة بنقلها إلى الفضاء ووضعها فى المدار الثابت بالنسبة للأرض .

وعلى الرغم من كل تلك التحسينات ستظل التكلفة مرتفعة، فالقدرة المكافئة لكل كيلو جرام من المنظومة لا تتعدى بضع مئات من الواط .

لا يزال التقدم التكنولوجى يزيد من كفاءة الخلايا الشمسية، فقد أعلن العلماء فى سويسرا أنهم توصلوا لطريقة جيدة لصنع أغشية رقيقة من السليكون ترسب على شرائح رقيقة وذات كفاءة عالية، فهى تعطى ٣٢٠٠ واط لكل كيلو جرام، إلا أن وسائل التحكم وطرق التثبيت لا تزال موضع بحث .

أعلنت وكالة الفضاء اليابانية JAXA أنها تعتزم إرسال قمر صناعى إلى الفضاء فى عام ٢٠١٠ يحمل مجموعة من مصفوفات الخلايا الشمسية ويرسل شعاعاً ميكرونيًا قدرته ١٠٠ كيلواط. وفى عام ٢٠٢٠ تعتزم إرسال منظومة شمسية إلى الفضاء ترسل ٢٥٠ ميجاواط إلى الأرض وستقوم ببيعها للدول الأخرى .



شكل (١٠)

مجموعة من المجمعات الشمسية عبارة عن مرايا مقعرة على شكل أطباق متصلة بآلات ستيرلنج الحرارية. تقوم المرايا بتركيز أشعة الشمس على تلك الآلات فيتمدد الغاز وهو المادة الشغالة بها، فيدفع مكبساً يدير توربين توليد الكهرباء . ويمكن مضاعفة عدد المرايا بحيث تركز الشمس على عدد كبير من تلك الآلات لتعطى الطاقة الكهربائية المطلوبة كما هو واضح من الشكل

استخـــدام الطاقـــة الشمســـية الحراريـة فـــي تشغيل محـــطات توليد الكهرباء :

من الممكن استخدام الطاقة الشمسية الحرارية بواسطة مرايا مقعرة لتجميع أشعة الشمس فى نقطة بهدف تسخينها، أو بواسطة المجمعات الشمسية المسطحة، وقد استخدمت الطاقة الحرارية للشمس منذ زمن طويل فى أغراض تسخين المياه وتدفئة المنازل وتحلية المياه وغير ذلك، إلا أنه من الممكن استخدامها كذلك فى توليد الكهرباء دون الحاجة إلى الخلايا الشمسية باهظة الثمن، وذلك باستخدام آلة رانكين الحرارية، وهى مكونة كما فى الشكل التوضيحى (١١-أ). والكفاءة الترموديناميكية لهذه الآلة تعتمد على درجتى حرارة المستودع الساخن والمستودع البارد طبقاً لنظرية كارنو .

فى أحد التصميمات شكل (١٠) تركز أشعة الشمس بواسطة المرايا المقعرة على آلة ستيرلنج الحرارية وهى آلة عالية الكفاءة بها غاز ينتقل بين مستودعين أحدهما ساخن والآخر بارد، فيضغط على بستن Piston، وهذا البستن يدير توربينة المولد الكهربائى .

فى شكل (١١-ب) رسم تفصيلى لمكونات آلة رانكين تسخن بالطاقة الشمسية بواسطة مجموعة من المجمعات الشمسية المسطحة .

وعند استخدام المجمعات الشمسية المسطحة كمصدر للحرارة فى آلة رانكين وجد أنه من الأفضل استخدام سوائل عضوية غير الماء كسائل شغال فى الآلة، وشكل (١١-ب) يبين محطة لتوليد الكهرباء تعمل بالطاقة الشمية المجمعة بالسخانات الشمسية وهى من صنع شركة آرثل ليتيل Arthur D. Little Inc. USA وتتميز هذه الآلات بالآتى :

١ - كفاءة عالية تصل إلى ٦٠ ٪ من الكفاءة الترموديناميكية عندما تعمل فى درجات حرارة منخفضة بين ٩٠ ، ٢٠٠° س .

٢ - يمكن استخدام مواد غير باهظة الثمن وتكنولوجيات غير معقدة فى صنع هذه الآلات بما يتناسب وظروف الدول الفقيرة والتى تتوفر بها الطاقة الشمسية .

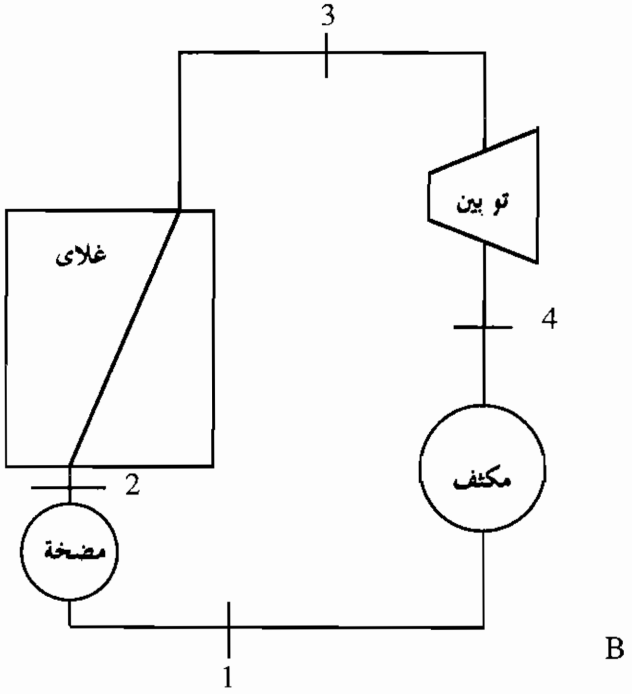
٣ - يمكن تطويع هذه الآلات لإنتاج قدرات مختلفة من الطاقة تمتد من بضع كيلوات لتشغيل مضخات رفع المياه مثلاً إلى الميجاوات .

وكما هو واضح من شكل (١١-ب) تتكون هذه المحطة من الأجزاء الآتية :

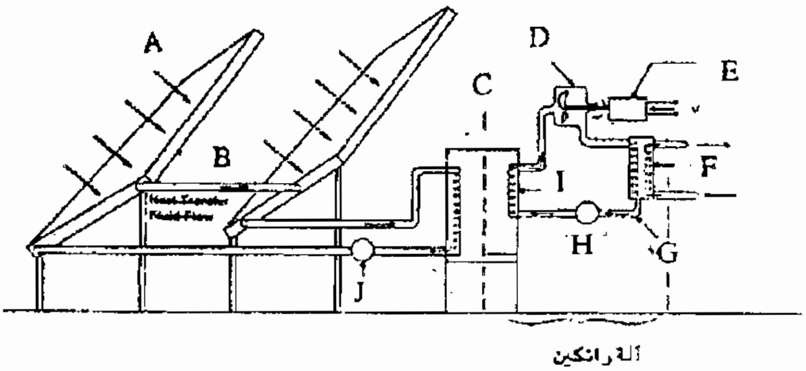
١ - سخانات شمسية مسطحة (A) . ٢ - غلاى أو مبادل حرارى (C) .

٣ - توربين (D) . ٤ - مضخة (H) .

٥ - مكثف (F) .



شكل (١١-أ) آلة تعمل طبقاً لدورة رانكين



شكل (١١-ب) محطة لتوليد الكهرباء تعمل بالطاقة الشمسية (شركة آرثر - ليتيل)

A - مجموعة من المجمعات الشمسية المسطحة - B - أنابيب نقل السائل الشغال فى المجمعات الشمسية - C - مبادل حرارى - D - توربين - E - مولد كهرباء - F - مكثف - G - أنابيب نقل السائل الشغال - H - مضخة - I - مولد البخار - J - مضخة للسائل الشغال فى المجمعات الشمسية

ولتشغيل آلة رانكين يستخدم الماء الساخن الآتى من المجمعات الشمسية وتتراوح درجة الحرارة التى يصل إليها الماء من ٨٠°س إلى ٢٠٠°س ويتوقف ذلك على طريقة تشغيل المجمعات الشمسية وعددها والفيض الشمسى الساقط عليها. وللحصول على درجات حرارة أعلى من ١٠٠° يجب أن يصل ضغط بخار الماء من المجمع الشمسى إلى ١٦ كج/سم٢ .

فى المبادل الحرارى (C) يتم الانتقال الحرارى من الماء الساخن الآتى من السخان الشمسى إلى السائل العضوى الشغال فى آلة رانكين فيتحول إلى بخار مشبع. وقد وجد أن السوائل العضوية المستخدمة فى أجهزة التبريد مثل الفريون تصلح لهذا الغرض .

يقوم البخار المشبع للسائل العضوى وهو عند درجة حرارة مرتفعة وضغط مرتفع بإدارة التوربين (D) ثم يمر بعد ذلك خلال المكثف حيث يتم انتقال حرارى من السائل العضوى إلى ماء التبريد. يضغط السائل العضوى بعد ذلك بواسطة المضخة (H) إلى المبادل الحرارى ليبدأ الدورة من جديد .

٢-٢ طاقة الريح :

قد استخدام الإنسان منذ القدم طاقة الريح فى تسيير المراكب الشراعية، وفى العصر الحديث أخذ الإنسان يستخدم هذا المصدر للطاقة الميكانيكية فى توليد الكهرباء .

٠,١٥ ٪ من الطاقة الشمسية التى تصل إلى سطح الأرض تذهب فى تحريك الهواء، والرياح تنشأ عن اختلاف كثافة الهواء بفعل الطاقة الشمسية، وقد استخدم الإنسان طاقة الريح فى تسيير المراكب الشراعية كما استخدمت طواحين الهواء فى بلاد عديدة لطحن الغلال ورفع المياه .

وفى الوقت الحاضر ومع ارتفاع أسعار الطاقة بدأت العديد من الدول تضع برامج علمية للاستفادة من طاقة الريح فى الحصول على أجزاء من احتياجاتها من الطاقة .

حساب قدرة مروحة تعمل بطاقة الريح :

تتكون الآلة التى تعمل بطاقة الريح من مروحة تشبه مروحة الطائرة معلقة على حامل مرتفع، فعندما تصطدم بها الريح تنتقل إليها الطاقة الحركية من جزئيات الهواء. فلو فرضنا أن الطاقة الحركية لجميع جزيئات الهواء التى تمر خلال المروحة تنتقل إليها، وبذلك فإن كل الطاقة الحركية للريح تتحول إلى طاقة تدير ريش المروحة ومن ثم إلى طاقة كهربية أو ميكانيكية. ومن قوانين الميكانيكا يمكن كتابة القدرة الميكانيكية التى تكتسبها المروحة من الريح بالمعادلة الآتية :

$$P = \frac{n}{8}\, d\, D^2\, V^3$$

حيث d كثافة الهواء وتساوى ١,٢٠١ كج/م^3، D قطر المروحة، و V سرعة الريح، P هى القدرة بالواط. ومن تلك المعادلة يتضح مدى أهمية سرعة الريح على ما تعطيه المروحة من قدرة كهربائية حيث إنها مرفوعة للأس الثالث .

الطاقة المستغلة من الرياح تفوق بكثير الطاقة المستغلة من الشمس، وفى السنين الأخيرة يتزايد استغلال طاقة الريح بمعدل ٢٥ ٪ سنويًا. والطاقة المتولدة من التوربينات التى تدار بطاقة الريح على مستوى العالم قد وصلت إلى ٦٠ جيجاواط. فى الفترة من ١٩٩٤ إلى ٢٠٠٥ ازداد إنتاج دول الاتحاد الأوربى من الطاقة الكهربائية من المحطات التى تعمل بطاقة الريح من ١,٧ إلى ٤٠ جيجاواط. وتنتج ألمانيا وحدها طاقة كهربائية من المحطات التى تعمل بطاقة الريح ما يقرب من ١٨ جيجاواط. والمناطق الشمالية من ألمانيا تنتج ٢٥ ٪ من الطاقة الكهربائية من محطات تعمل بطاقة الريح، وبها ٢٤٠٠ توربين تعمل بالمراوح الهوائية. وأسبانيا تنتج ١٠ جيجاواط بواسطة التوربينات التى تعمل بطاقة الريح، وتنتج الدنمارك ٣ جيجاواط، أما بريطانيا وشمال إيطاليا والبرتغال فكل منها ينتج حوالى جيجاواط واحد .

فى الولايات المتحدة حدثت طفرة كبيرة فى استغلال طاقة الريح لتوليد الكهرباء لتصل إلى ٩١٠٠ ميجاواط فى عام ٢٠٠٥، وهو ما يعادل ٠,٥ ٪ من إجمالى إنتاج الطاقة الكهربائية. والفرصة لنمو استغلال طاقة الريح كبيرة ولاسيما فى المناطق التى تتميز بشدة الريح مثل شمال داكوتا، فلو أن الولايات المتحدة استغلت كل طاقة الريح المتاحة، وذلك بإنشاء العديد من حقول المراوح الهوائية التى تدير توربينات توليد الكهرباء فسوف تستطيع أن تضيف ١١ تريليون كيلوات ساعة وهو ما يعادل ثلاثة أمثال ما أنتجته الولايات المتحدة من طاقة كهربائية فى عام ٢٠٠٥ .

وقد تمكنت المصانع من إنتاج توربينات تعمل بطاقة الريح وتستطيع توليد طاقة كهربائية مقدارها من ٤ إلى ٦ ميجاواط للوحدة. وفى بعض المناطق تكون الطاقة الكهربائية الناتجة عن طاقة الريح أرخص بكثير من الطاقة الكهربائية التى تنتجها محطات القوى التقليدية حيث يبلغ ثمن الكيلوات – ساعة من ٤ – ٧ سنتات .

إلا أن طاقة الريح تقابل ببعض الاعتراض من قبل بعض الجماعات التى تعتبر أن حقول المراوح الهوائية تسىء إلى المنظر العام، كما تؤدى إلى حدوث ضجيج للسكان القريبين منها. ولكن يجب أن تقارن تلك الجماعات بين هذه الأضرار والأضرار الضخمة التى تنتج عن تشغيل محطات الكهرباء بالوقود الكربونى الذى يتصاعد منه أطنان من الغازات الكربونية الضارة بصحة الناس وبكوكب الأرض .

استغلال الطاقة الميكانيكة من مساقط المياه في توليد الطاقة الكهربية المائية :

مصدر الطاقة الميكانيكية فى المياه المتدفقة هى الشمس، فقد سبق أن ذكرنا أن ٢٣ ٪ من الطاقة الشمسية التى تصل الأرض تسقط على سطح الأرض والأنهار والمحيطات فيتبخر الماء منها ويتصاعد بخار الماء مع الهواء إلى طبقات الجو العليا فيبرد ويكون السحب التى تسير مع الهواء إلى مناطق بعيدة، وإذا ما قابلت سفوح الجبال فإنها تبرد وتتحول ثانياً إلى ماء أو برد يهطل فوق هذه الجبال، ومنها يندفع إلى أسفل بسرعة كبيرة فيكون المجارى المائية والأنهار. جزء آخر من الأمطار يتجمع فوق الجبال فى بحيرات كبيرة، حتى إذا ما امتلأت فاض منها الماء هابطاً إلى أسفل مكوناً المساقط المائية .

ولكى يمكن استغلال طاقة الوضع المكتسبة فى كميات الماء الهائلة المخزونة فى هذه البحيرات توضع بوابات عند مخارج هذه البحيرات بحيث يمكن عن طريقها التحكم فى معدل سقوط الماء .

وطاقة الوضع تساوى وزن الماء المخزون فى البحيرة مضروباً فى ارتفاع البحيرة عند النقطة التى سنستغل عندها هذه الطاقة. ووزن الماء هو حاصل ضرب كتلة الماء فى عجلة الجاذبية .

أى أن طاقة الوضع = كتلة الماء × عجلة الجاذبية × الارتفاع

وعند اندفاع الماء المخزون فى البحيرة إلى أسفل تتحول طاقة الوضع إلى طاقة حركة، فإذا ما سقطت على توربين متصل بمولد كهرباء فإن طاقة الحركة هذه تتحول إلى طاقة ميكانيكية تدير التوربين وتولد الكهرباء، وكفاءة توليد الطاقة الكهربائية من المساقط المائية تصل إلى ٨٥ ٪ فهى أعلى من كفاءة توليد الكهرباء بواسطة المحطات الحرارية أو بواسطة الخلايا الشمسية .

مميزات استخدام محطات توليد الكهرباء الهيدرولوجية :

١ - لا تحدث تلوثاً للبيئة .

٢ - رأس المال المنفق يتمثل فى بناء السد أو الخزان، وهذا يفيد فى تنظيم الرى ويقى البلاد شر الفيضانات أو السيول. كل ذلك إلى جانب توليد الكهرباء .

٣ - كفاءة توليد الكهرباء من الطاقة المائية عالية وتصل إلى ٨٥ ٪ بينما كفاءة توليد الكهرباء من المحطات الحرارية لا يتعدى ٤٠ ٪ ومن الخلايا الشمسية ١٥ ٪.

٤ - لا تحتاج إلى تكاليف عالية للصيانة، كما أن التوربينات المائية سهلة التركيب والتشغيل ويمكن إيقافها وتشغيلها فى أى وقت، وبذلك يمكن استخدامها فى التحكم فى الطاقة الكهربية ولاسيما فى ساعات الذروة. أما المحطات الحرارية فلا يمكن إيقافها كلية؛ لأن محطات توليد البخار سوف تحتاج إلى وقت طويل لإعادة تسخينها للدرجة المطلوبة .

الطاقة من الوقود الحيوى

Energy From Biofuel

من المعروف أن ٠,٠٢ ٪ من الطاقة التى تصل إلى الأرض من الشمس تستخدم فى عمليات التمثيل الضوئى التى تقوم بها النباتات، وعملية التمثيل الضوئى هى عملية كيماوية إندوثرمية تقوم فيها النباتات بتخليق جزيئات المركبات السكرية من اتحاد ثانى أكسيد الكربون الموجود فى الجو والماء وذلك فى وجود ضوء الشمس. ويتم التفاعل طبقاً للمعادلة :

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة شمسية} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2 \ (\text{سكر جلوكوز}) \quad (١)$$

ويختزن الجلوكوز المتكون على شكل مركبات كربوهيدراتية مثل النشا والسليولوز والسكر فى أجزاء مختلفة من النبات .

وقد بدأ العلماء يفكرون فى استغلال الطاقة الكيماوية المخزونة فى هذه المركبات بتحويلها إلى وقود سائل وغازى يمكن استخدامه فى محركات الاحتراق الداخلى بدلاً من المركبات البترولية مثل الجازولين والسولار .

فالجلوكوز إذا أضيفت إليه بعض أنواع الخمائر وترك فى معزل عن الهواء فإنه يتحول إلى كحول إيثيلى وميثيلى يمكن استخدامه كوقود جيد للسيارات وذلك طبقاً للمعادلة :

$$(\text{جلولكوز})\ C_6H_{12}O_6 + \text{بكتريا} \xrightarrow{\text{تخمر}} C_2H_5OH + CH_3OH + CO_2 \quad (٢)$$

وجميع التكنولوجيات الخاصة بعمليات التخمر وفصل المركبات الكحولية بالتقطير معروفة جيداً، حيث إنها تستخدم منذ زمن طويل فى تحضير الكحول من مولاس قصب السكر ومن النشا والبطاطس والشعير وغير ذلك .

التكنولوجيات المستخدمة للحصول على الوقود السائل من الكتلة الحيوية :

هناك أنواع عديدة من الوقود السائل الذى يمكن الحصول عليه من الكتلة الحيوية بالطرق الميكروبيولوجية مثل الأيثانول والأسيتون والبيوتانول والميثانول، وقد صنعت كل هذه الأنواع بهذه الطريقة أثناء الحرب العالمية الثانية حينما كانت الحاجة ماسة إلى الوقود السائل. أما فى الوقت الحالى فهذه السوائل تحضر من البتروكيماويات باستثناء الأيثانول الذى لايزال يصنع من تخمر المولاس الناتج عن استخراج السكر من القصب ومن النشويات ولاسيما الذرة .

وفى الطرق الصناعية لتحضير السوائل السابقة الذكر بالطرق الميكروبيولوجية تستخدم أجهزة تخمير سعتها من ٢٠٠ إلى ١٥٠٠م^3 وأثناء عملية التخمر يجب أن يظل الوسط معقماً لمنع أى كائنات حية غير مرغوب فيها من التدخل فى عملية التخمر مما قد ينتج عنه تكون مركبات غى مطلوبة .

وفى أجهزة التخمر تقوم الميكروبات بدور المنشط الحيوى Biocatalyst لتحويل الكتل الحيوية فى معزل عن أكسوجين الهواء إلى المركبات المطلوبة .

وأثناء هذا التحول الكيماوى ترتفع درجة الحرارة، لذلك يجب أن يبرد المحلول، كما يجب أن يقلب باستمرار لتسهيل انتشار ميكروبات التخمر فى المحلول المحتوى على البيوماس وضمان تجانسه، وتستغرق هذه العمليات من ٤٠-٦٠ ساعة. ونواتج التخمر الأساسية هى الأيثانول والبيوتانول والأسيتون، وهذه المركبات يمكن فصلها من المحلول بواسطة التقطير. إلى جانب الحصول على هذه المحروقات السائلة يمكن الحصول كذلك على غاز ثانى أكسيد الكربون الناتج عن عملية التخمر، ويمكن الاستفادة منه فى تصنيع ثانى أكسيد الكربون الجاف الذى يستخدم بكثرة فى التبريد. كما ينتج كذلك غاز الهيدروجين الذى يمكن الاستفادة منه كمصدر للطاقة .

أما مخلفات عملية التقطير فهى تتكون من مركبات عضوية غير متطايرة وأملاح غير عضوية ويمكن الاستفادة منها كعلف حيوانى أو كسماد .

ومن أهم المواد الخام التى يمكن استخدامها للحصول على السوائل السابقة الذُرة والمولاس والسليولوز والبطاطس والفواكه غير الصالحة، للأكل والشعير والحنطة والكسافا والنشا .

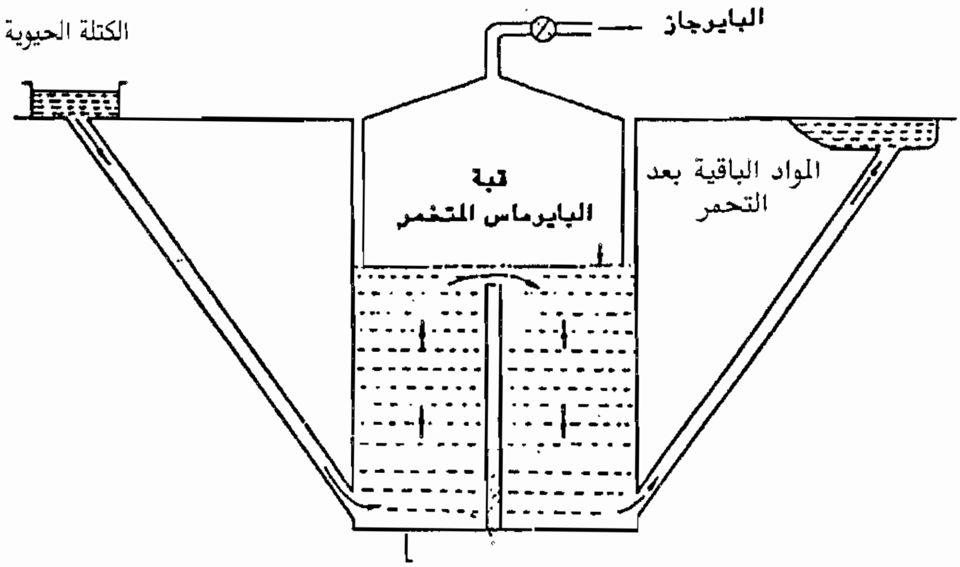
وتكنولوجيات التخمير تحتاج إلى مصانع ومتخصصين للتحكم فيها والحصول على المقطرات المطلوبة، أى أنها ليست ممكنة فى المجتمعات الريفية .

طريقة للحصول علي البايوجاز من الكتل الحيوية والمخلفات الزراعية والحيوانية :

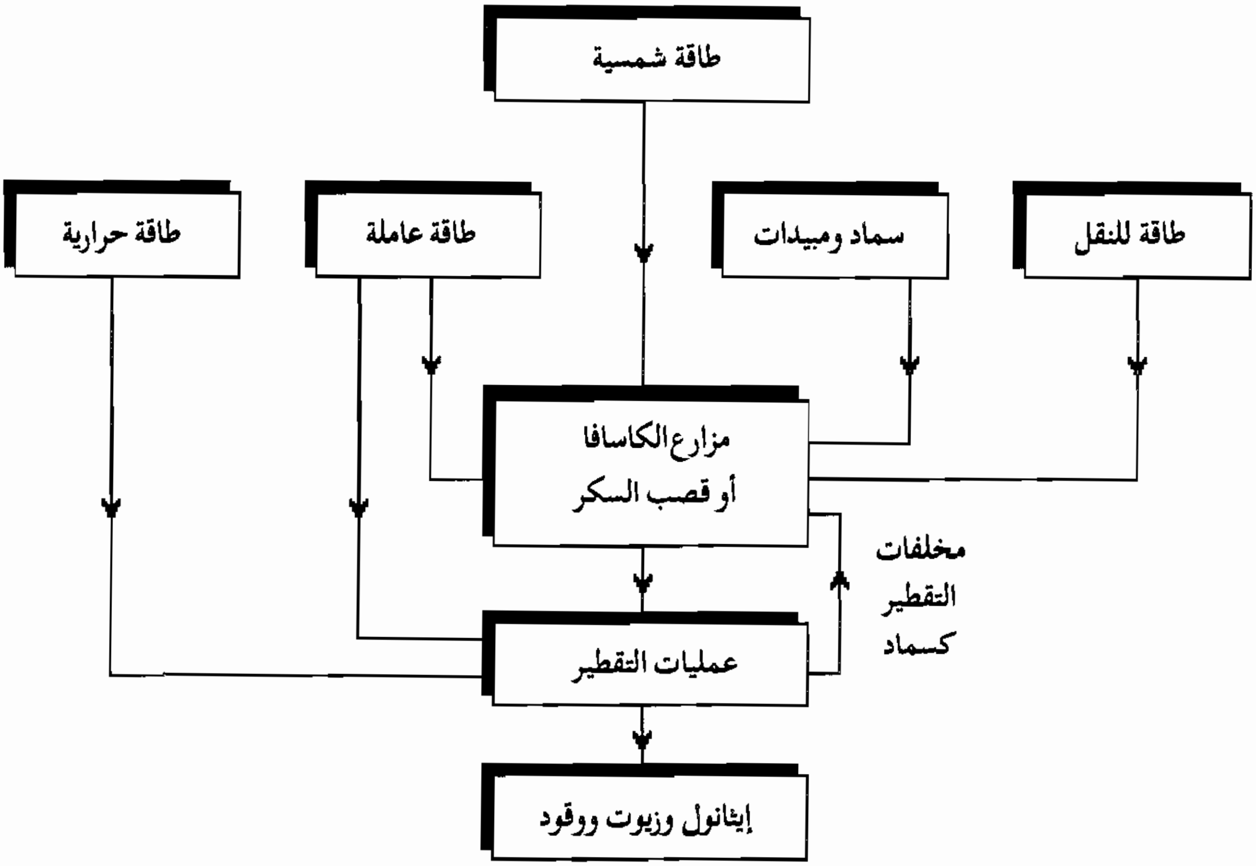
فى هذه الطريقة يمكن الحصول على البايوجاز، وهو خليط من غاز الميثان وغاز ثانى أكسيد الكربون بنسبة تتراوح بين ٤٥ ٪ ، ٧٠ ٪ وتتم باستخدام المخلفات الحيوانية أو النباتية وكذلك نواتج الصرف الصحى وتخميرها فى معزل عن الهواء. ويبين الرسم توضيحاً لطريقة عمل محطة للحصول على البيوجاز، وهى تتكون من أسطوانة كبيرة تحتوى على المخلفات العضوية الرطبة ويطفو فوقها قبة يتجمع تحتها البايوجاز وتتم تغذية المحطة بالبايوماس من جانب وتسحب نواتج بواقى التخمر من الجانب الآخر، وهذه النواتج يمكن استخدامها كسماد جيد لأنها تحترى على أملاح هامة مثل البوتاسيوم والفوسفور، ويصل قطر أُسطوانة التخمر Digestor حوالى ٥م وعمقها من ٣ إلى ٦م، والحائط الموجود فى منتصف الأسطوانة يقوم بتوجيه حركة البايوماس الداخل إلى أسطوانة التخمر شكل (١٢) .

وتتم عملية تحلل البايوماس بفعل البكتريا على مرحلتين، فى المرحلة الأولى تتكون مجموعة من الأحماض البسيطة بفعل نوع معين من البكتريا، وفى المرحلة الثانية تتحول هذه الأحماض البسيطة بفعل نوع آخر من البكتريا إلى غاز الميثان وثانى أكسيد الكربون .

التخمر.



شكل (١٢) طريقة عمل محطة للحصول على البايوجاز



شكل (١٣) رسم توضيحى للتقييم الاقتصادى لاستغلال الطاقة من عمليات التمثيل الضوئى

والقيمة الحرارية للبايوجاز تصل من ١٦٠٠٠ إلى ٢٥٠٠٠ كيلو جول/م^{٣} ، وهو وقود جيد للأغراض المنزلية مثل الطهى والإنارة .

وتعتمد بعض الدول مثل الهند على إنتاج البايوجاز ولا سيما فى الأماكن الريفية التى تتوفر فيها قطعان الماشية والأغنام ولديها ما يقرب من ٨٠٠٠٠ محطة تنتج كل منها ما يقرب من ١٠٠ م^{٣} فى اليوم، أى أنها تنتج ما يقرب من ٣ بليون متر مكعب من الغاز فى العام وهو ما يعادل ٢ مليون طن من البترول .

أثر استخدام الطاقة من الوقود الحيوى على المناخ :

يعتبر الإيثانول أهم أنواع الوقود الحيوى لتسيير السيارات، وهو يصنع غالباً من الذرة. ومصانع الإيثانول أنتجت فى الولايات المتحدة ١٦ بليون لتر فى عام ٢٠٠٥، وهو ما يعادل ٣ ٪ من حجم وقود السيارات فى ذلك العام، وينتظر أن يتزايد الإنتاج ليصل إلى ٥٠ ٪ من وقود السيارات عام ٢٠٠٧، أما بالنسبة لأثر الإيثانول عندما يحترق على نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الجو فلن يزيد ذلك من كميته، لأن ما يتصاعد من ثانى أكسيد الكربون عند احتراقه يساوى ما سبق أن امتصه النبات من الجو أثناء نمو الذرة أو النشويات الأخرى كما هو واضح من المعادلة الكيماوية (١).

التقييم الاقتصادي لاستغلال الطاقة من عمليات التمثيل الضوئى :

لاستغلال الطاقة الناتجة عن التمثيل الضوئى على أسس اقتصادية سليمة يجب إجراء دراسة لمعرفة تكاليف عمليات الاستزراع والتسميد والتقطير وغير ذلك، ثم حساب كفاءة العملية وهى النسبة بين الطاقة الناتجة على شكل مركبات كيمياوية مثل الإيثانول وزيوت الوقود إلى الطاقة المستهلكة فى العمليات السابق ذكرها، ويبين الشكل التخطيطى شكل (١٣) عمليات حركة الطاقة بين العمليات المختلفة لاستزراع وتخمير الكاسافا، وهو نبات ينتج درنات غنية بالمواد الكربوهيدراتية التى تصلح للتخمير وتصنيع الكحول وغيره من أنواع الوقود السائل، ويمكن زراعته فى المناطق الصحراوية ويتميز بإنتاجية عالية، وقد نجحت زراعته فى البرازيل، ويمكن تجربة زراعته فى الصحارى المصرية كمصدر للوقود .

وقد أجريت دراسات جدوى على الكاسافا وقصب السكر كمصدرين للطاقة ويبين جدول (١) نتائج هذه الدراسة التى أجريت فى البرازيل .

جدول(١)

النبات	الطاقةالناتجة	الطاقة المستهلكة (كيلو كالورى × $١٠^{٦}$)			الإجمالى	الكفاءة ٪
		فى الزراعة	فى التقطير	فى النقل		
		كيلو كالورى × $١٠^{٦}$				
قصب السكر	٥,٥٩	٠,٤٢	٠,٠١٧	٠,٢٦	٠,٧	٨٠
الكاسافا	٥,٥٩	٠,٣٠	٠,٠٤٥	٠,٢٧	٠,٦٢	٩٠

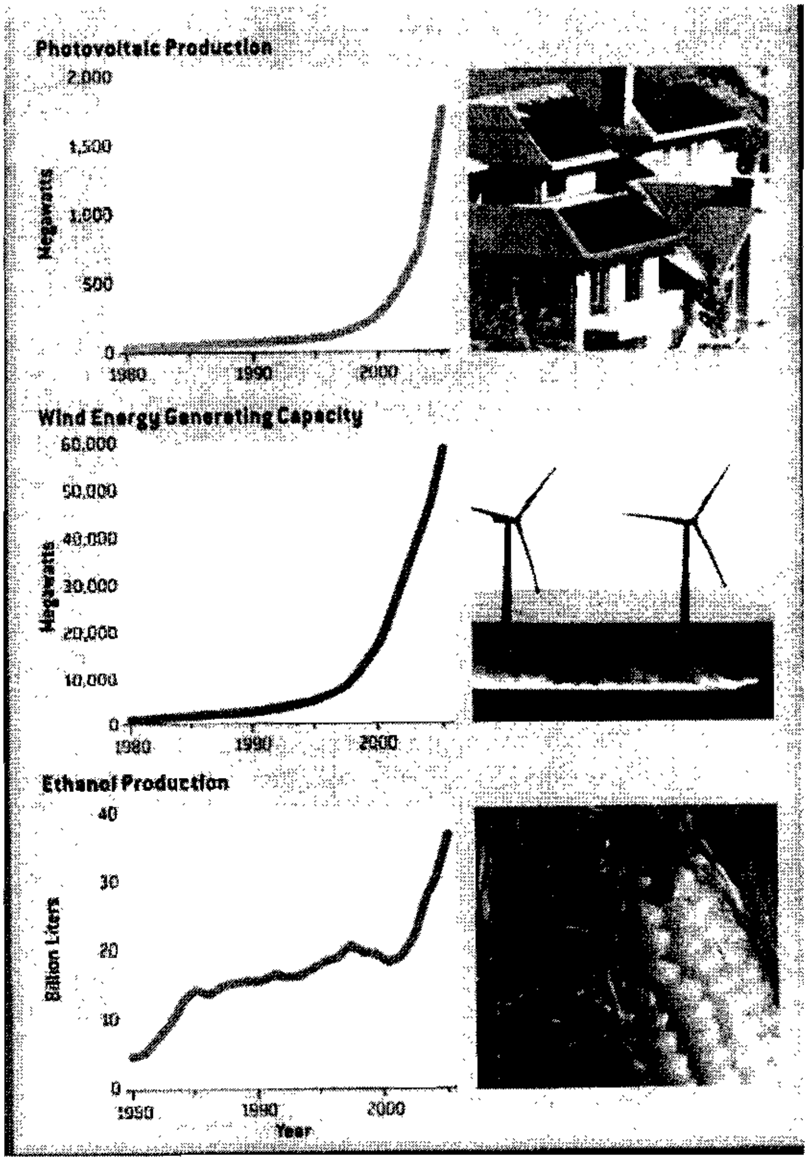
ويتضح من هذا الجدول أن الكفاءة عالية ولذلك ينصح المختصون بزراعة مثل هذه النباتات وكذلك الغابات على مساحات كبيرة كمصدر للطاقة .

الإنفاق الحكومى والقطاع الخاص فى الولايات المتحدة على بحوث التنمية فى قطاع الطاقة المتجددة :

يبين شكل (١٤ ب) أن الإنفاق على بحوث التنمية فى مجال الطاقة المتجددة قد انخفض عما كان عليه عام ١٩٨٠ . وتبين الأنشطة فى براءات الاختراع أن خفض الإنفاق قد أحدث تباطؤاً شديداً فى بحوث التنمية فى مجالات الطاقة المتجددة، وتبين المنحنيات (٢ ، ٣) أن الهبوط فى التمويل واكبه هبوط فى عدد براءات الاختراع فى مجالى طاقة الريح والطاقة الضوئية الشمسية .

التقدم فى استخدام الطاقات المتجددة على مستوى أوربا والولايات المتحدة :

بعد عام ٢٠٠٠ تزايد استغلال الطاقة المتجددة بشكل غير مسبوق، فقد تزايدت الطاقة المتولدة من الخلايا الفوتوفلطية، أى الخلايا الشمسية، بنسبة ٤٥ ٪ فى عام ٢٠٠٥. أما الطاقة المتولدة من الريح فقد تضاعفت ١٠ مرات خلال العقد الماضى على مستوى العالم. والإيثانول أهم منتج فى الوقود الحيوى فقد وصل إنتاجه على مستوى العالم ٣٦,٥ بليون لتر فى عام ٢٠٠٤. كما هو مبين فى شكل (١٤-أ).

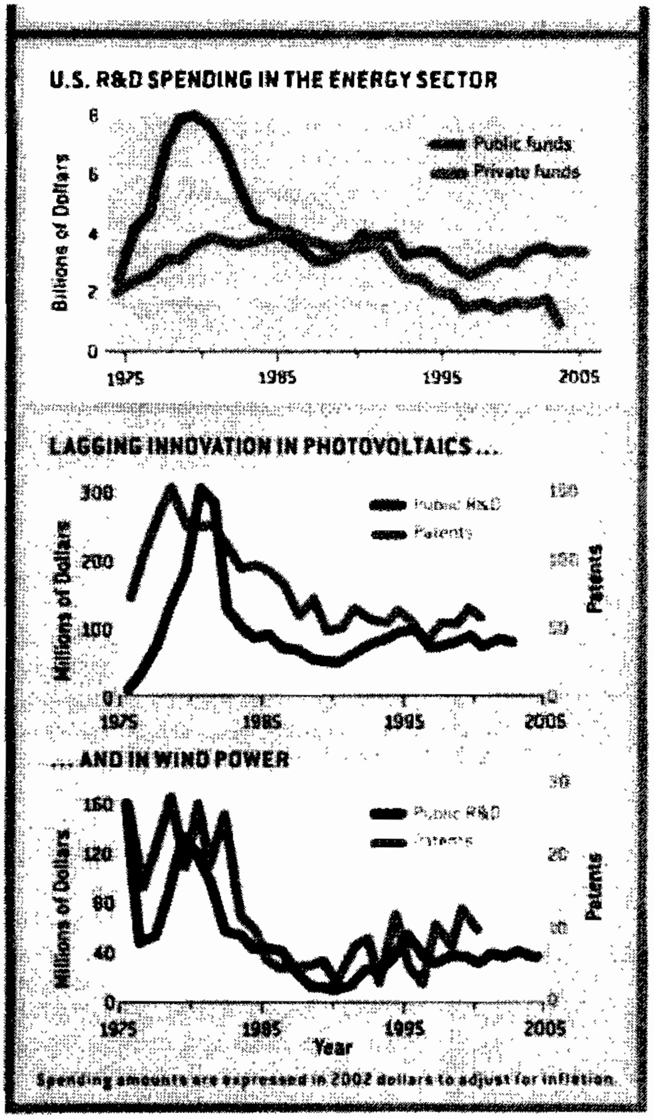


شكل (١٤ -أ)

بحوث التطوير فى مجال الطاقة (شكل ١٤-ب) .

فى الولايات المتحدة هبطت بحوث التطوير والتنمية فى مجال الطاقة بعد عام ١٩٨٠ كما هو واضح من منحنى رقم (١) فنتج عن ذلك :

تناقص بحوث التنمية والابتكار فى مجال الخلايا الفوتوفلطية وقلت تبعًا لذلك براءات الاختراع فى هذا المجال كما هو واضح من منحنى (٢). ويبين منحنى (٣) هبوط التمويل فى مجال بحوث طاقة الريح، وتبع ذلك هبوط براءات الاختراع المسجلة فى هذا المجال .



شكل (١٤ - ب)

٣ - استغلال الفحم كمصدر للطاقة دون السماح لتصاعد الغازات الكربونية إلى الجو

الفحم مصدر هام من مصادر الطاقة اعتمدت عليه الصناعة منذ بداية عصرها، فهو متوفر ورخيص الثمن، إلا أن الغازات الكربونية المتصاعدة إلى الجو عند احتراقه تمثل مشكلة ضخمة وضرراً بالغاً بكوكب الأرض الذى نعيش عليه .

ولذلك فإذا أردنا استغلاله مستقبلاً فلابد من إيجاد وسيلة ناجحة لمنع وصول الغازات الكربونية المتصاعدة عند احتراقه إلى الجو. فلو استمر استخدام الفحم كما استخدم منذ بدء الثورة الصناعية، فإنه بعد مضى ثلاثة عقود سيصل تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو ضعف تركيزه عند قيام الثورة الصناعية، وهو ما يمثل خطراً جسيماً على مستقبل الأرض، ليس هذا فحسب بل سيضر أيضاً بصحة الإنسان بسبب ما يتصاعد مع ثانى أكسيد الكربون من أكاسيد الكبريت والمواد السامة الأخرى الموجودة مع الفحم؛ ولذلك فسوف نتناول فيما يلى الطرق اللازم اتباعها عند استخدام الفحم حتى لا يؤثر على البيئة وعلى صحة الإنسان :

تقدير احتياطي الفحم في العالم:

من الممكن تقدير كمية الفحم الموجود على الأرض، فهو يوجد فى تكوينات تكون فى مجموعها شريطاً يحيط بالكرة الأرضية. ومن دراسة التكوين الجيولوجى أمكن تحديد احتياطى العالم من الفحم، ووجد أنه يصل إلى $٦,٦ \times ١٠^{١٢}$ طن مترى. فلو فرضنا أن معدل استخراجه يبلغ ٢×١٠^{٩} طن مترى فى السنة فإن هذا الاحتياطى سيكفينا لمدة ٣٠٠٠ سنة، ولو فرضنا أن معدل الاستخراج سيتزايد مع الزمن ليصل إلى أربعة أضعاف ما هو عليه حالياً فإن هذا الاحتياطى سيكفى لمدة تصل إلى ٧٥٠ سنة .

الطرق الجيولوجية للتخلص من الغازات الكربونية :

الطرق التى تمنع وصول الغازات الكربونية إلى الجو تعتمد على جمع وتخزين ثانى أكسيد الكربون CO_2 Capture and Storage وتسمى اختصاراً (CCS) بعد ذلك يتم نقله إلى مواقع التخزين على أعماق سحيقة تحت سطح الأرض ولاسيما فى المناطق ذات الصخور المسامية مثل آبار البترول الناضبة أو فى أعماق البحار. وطرق جمع ثانى أكسيد الكربون معروفة لدى عدد كبير من المصانع ولاسيما فى مصانع الكيماويات، ومحطات تنقية الغاز الطبيعى من غازى ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. والتخلص من الغازات الكربونية أمر فى غاية الأهمية لضمان ثبات كميته فى الجو بما لا يتعدى ٤٥٠ جزءاً فى المليون بالحجم (PPMV) حتى يمكن تلافى التغيرات المناخية الضارة بالكرة الأرضية. ويجب على محطات توليد الكهرباء والمصانع المستخدمة للفحم أن تسارع فى تنفيذ برامج لجمع الغازات الكربونية ومنع وصولها للجو.

وقد قدرت اللجنة الدولية للتغيرات المناخية Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) القدرة الاستيعابية للخزانات الجيولوجية بما مقداره

٢ ترليون طن متري من غاز ثانى أكسيد الكربون، وهو يزيد عما ستنتجه جميع الدول خلال القرن الواحد وعشرين. إلا أنه من الضرورى دراسة مدى قدرة هذه الخزانات الجوفية على الحفاظ على الغازات الكربونية دون التسرب السريع أو البطىء، فالتسرب السريع للغازات الكربونية خطير جداً بالبيئة المجاورة للخزان الجوفى وقد يصيب الآلاف من سكان تلك المناطق بالاختناق، لذلك يجب اختيار خزانات درجة مساميتها عالية جداً وعلى عمق كبير. أما التسرب البطىء فقد ينتج عنه خروج الغازات الكربونية ببطء شديد إلى الجو مرة أخرى، وخلال ١٠٠ سنة يكون الغلاف الجوى قد ازداد فيه تركيز الغازات الكربونية بشكل خطير .

التكنولوجيات الحديثة للتخلص من ثانى اكسيد الكربون ومنع وصوله للجو:

الفحم وإن كان سعره منخفضاً فى الأسواق إلا أن تكلفة استخراجه ومعالجته واستخدامه بشكل لا يلوث الهواء ولا يضر بالصحة العامة تجعله مرتفع الثمن. فالغازات الناتجة عن حرق الفحم تحتوى على أكاسيد سامة وأكاسيد حامضية مثل ثانى أكسيد الكبريت إلى جانب غازات الصوبة مثل ثانى أكسيد الكربون الذى يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض. إذن لابد من منع تلك الغازات من الانتشار فى الهواء الجوى وجمعها من أماكن حرق الفحم مباشرة .

كيف يتم جمع غازات احتراق الفحم:

هناك طريقتان لعمل ذلك، فى الطريقة الأولى وتسمى جمع وخزن غاز ثانى أكسيد الكربون وتسمى اختصاراً (CCS) أى Carbon Capture and Storage. فى هذه الطريقة يحرق الفحم فى محطات توليد الكهرباء التقليدية لتسخين الماء لدرجة الغليان ويستخدم البخار الناتج عن الغليان فى إدارة التوربينات التى تتحول طاقتها إلى طاقة كهربائية عن طريق مولدات الكهرباء .

فى المحطات الحديثة، الغازات الناتجة عن حرق الفحم والتى تتكون من ثانى أكسيد الكربون والنيتروجين الآتى من الهواء الجوى وبعض أكاسيد الكبريت تمرر على جهاز خاص لفصل أكاسيد النيتروجين والتى تمثل ٨٠ ٪ من حجم الغازات المتصاعدة، كما يتم أيضاً امتصاص الأكاسيد الضارة بصحة الإنسان، يعود النيتروجين إلى الجو مرة أخرى، أما ثانى أكسيد الكربون فيجمع فى أسطوانات تحت ضغط مرتفع لينقل إلى أماكن تخزينه فى جوف الأرض كما سبق أن ذكرنا أو فى أعماق البحار. ومن مميزات هذه الطريقة أن النتيروجين الذى يمثل ٨٠ ٪ من الغازات الناتجة عن الاحتراق يتم التخلص منه بإعادته للجو ولا يجمع غير ثانى أكسيد الكربون، وفى ذلك توفير للطاقة اللازمة لجمعه وضغطه فى الأسطوانات .

عمليات تحويل الفحم إلى غاز:

عملية تحويل الفحم إلى غاز Cool Gas هى عملية قديمة كانت تستخدم فى الماضى لتوليد الغاز اللازم للإنارة والتسخين فى المدن الكبرى، وقد توقفت هذه

الصناعة بعد اكتشاف الآبار الضخمة للغاز الطبيعى فى أعقاب الحرب العالمية الثانية وإنشاء شبكات من الأنابيب تغذى المدن بالغاز الطبيعى .

فى الوقت الحالى بدأ استخدام طريقة مشابهة تسمى الدورة المشتركة للغاز والبخار ويرمز لها Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC). فى هذه الطريقة لا يتم حرق الفحم، بل أكسدته جزئيًا بجعله يتفاعل مع قدر محدود من الأوكسجين عن طريق جهاز لفصل الأوكسجين من الهواء الجوى ويخلط مع بخار الماء تحت ضغط مرتفع فى جهاز لتحويل هذا الخليط إلى غازات Gasifier طبقًا للمعادلة الكيمائية :

$$O_2 + 4\,C + 2H_2O\ (\text{steam}) \rightarrow 2H_2 + 4CO$$

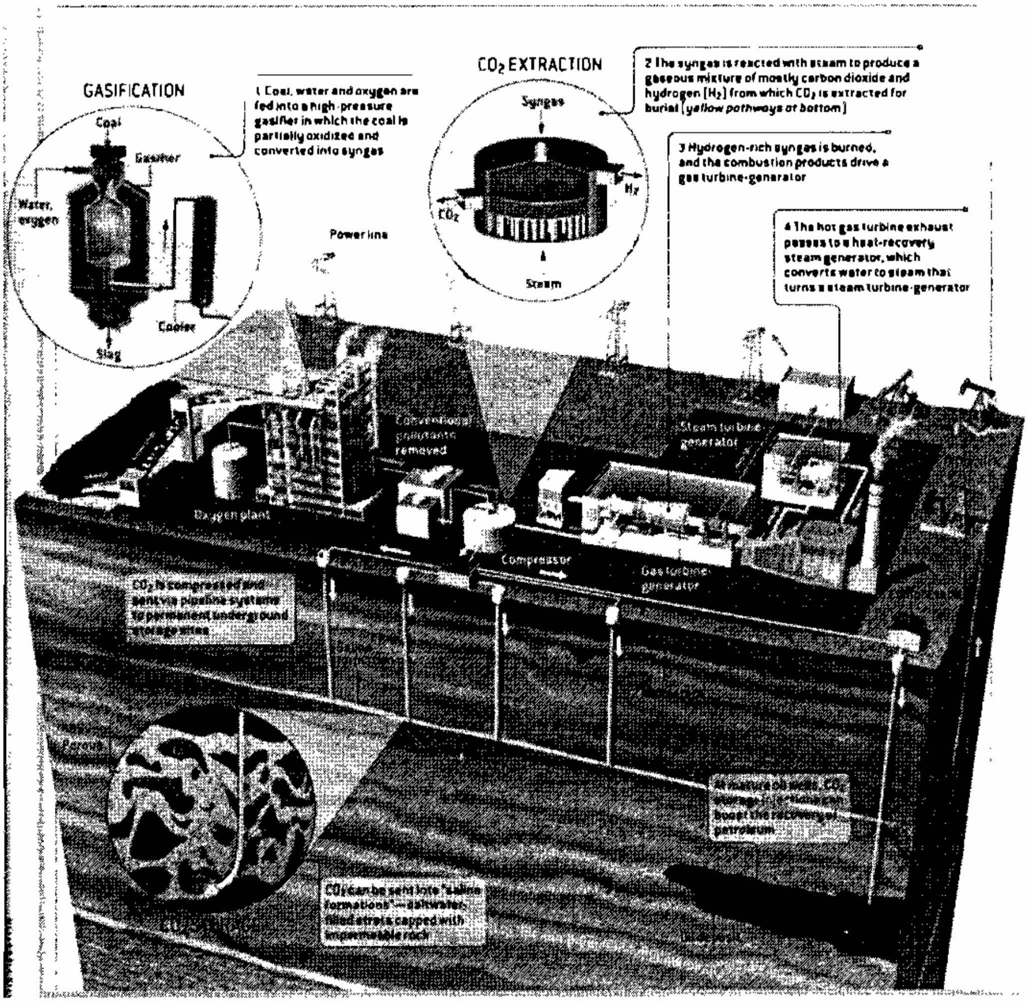
ويسمى هذا الخليط الغازى Syngas سنجاز، أى الغاز الصناعى Synthetic Gas وهو يتكون من غازى أول أكسد الكربون والهيدروجين. يستخدم السنجاز فى إدارة التوربينات التى تعمل بالغاز والتى تعمل بالبخار ولذلك تسمى هذه الدورة بالدورة المشتركة Integrated Gasification Combined Cycle وتختصر (IGCC) ويمكن فى تلك الدورة أن يتم جمع ثانى أكسيد الكربون وفى هذه الحالة يرد السنجاز فى جهاز التحضير الذى سبق ذكره شكل (١٥) ثم تفصل منه الجسيمات الصلبة. بعد ذلك يتفاعل مع بخار الماء شكل (١٥) لينتج غازى ثانى أكسيد الكربون والهيدروجين طبقًا للمعادلة الكيمائية :

$$H_2 + CO + H_2O\ (\text{steam}) \rightarrow CO_2 + 2H_2$$

يفصل غاز ثانى أكسيد الكربون ويحفظ فى أسطوانات تحت ضغط مرتفع، أما الهيدروجين فيستفاد منه فى تشغيل خلايا الوقود أو كمصدر للطاقة الحرارية. وطريقة IGCC تعتبر إحدى الطرق للحصول على غاز الهيدروجين من الفحم. وفى طريقة IGCC تستخدم الغازات الناتجة فى التفاعل الكيماوى السابق مع بخار الماء تحت درجة حرارة مرتفعة لإدارة التوربينات لتوليد الكهرباء .

وهناك دراسات عديدة أجريت لتحديد أى من الطرق التى سبق ذكرها وهى CCS و IGCC الأفضل والأرخص فى تشغيل محطات توليد الكهرباء .

للإقلال من التأثيرات المناخية يستخدم نظام CCS أو نظام IGCC لجمع وحفظ الغازات الكربونية. عند استخدام تكنولوچيات CCS، يتم حرق الفحم لتحويل الماء إلى بخار لإدارة التوربينات، ثم يتم تجميع ثانى أكسيد الكربون بعد فصله من باقى غازات العادم التى يشكل النتروجين ٨٠ ٪ منها. ويحفظ فى أنابيب تحت ضغط مرتفع. فى نظام IGCC يتم حرق الفحم جزئيًا باستخدام كمية محدودة من الأوكسجين والماء ليتحول إلى غاز صناعى يسمى سنجاز وهو خليط من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون. يستخدم الهيدروجين فى تحويل الماء إلى بخار يدير التوربينات، أما أكاسيد الكربون فإنها تجمع للتخلص منها. كما هو موضح فى شكل (١٥) .



شكل(١٥)

واستخدام تكنولوجيات CCS و IGCC فى محطات القوى التى تعمل بالفحم ستجعل الكيلوواط المنتج من تلك المحطات يحتاج إلى كمية من الفحم أكبر بمقدار ٢٠ ٪ من المحطات التقليدية، كما أن سعر الكيلوواط - ساعة سيرتفع كثيراً نتيجة لرأس المال المستثمر فى تلك التكنولوجيات، مما يجعل محطات القوى النووية أو المحطات التى تعمل بالطاقة المتجددة أقل سعراً من المحطات التى تعمل بالفحم .

وقد أجريت دراسة على الزيادة المحتملة فى سعر الكيلوواط - ساعة الناتجة عن جمع وحفظ ثانى أكسيد الكربون بطريقة CCS ونقله إلى أماكن تخزينه فوجدت أنها فى حدود ١,٩ سنت تضاف إلى سعر الكيلوواط - ساعة الناتج عن حرق الفحم مباشرة فى محطات القوى التقليدية والذى يبلغ ٤,٧ سنتات فيكون السعر الكلى للكيلوواط - ساعة ٦,٦ سنتات وهو ما يعادل سعر الكيلوواط - ساعة من المحطات النووية .

ولذلك فإنه من المفيد أن تبدأ المحطات التى سيتم بناؤها فى المستقبل القريب لتعمل بالفحم أن تصمم الوسائل اللازمة لتكنولوجيات جمع ونقل الغازات الكربونية بطريقة CCS أو بطريقة IGCC، ومن المفضل أن تساعد الحكومات بمنح بعض الحوافز التى تشجع أصحاب محطات الكهرباء على استخدام تكنولوجيات CCS .

الأضرار البيئية الناتجة عن استخراج الفحم واستخدامه :

يعتبر الفحم من أكثر مصادر الطاقة ضرراً بالبيئة وبالإنسان، وعلى الرغم من تجميع الغازات الناتجة عن حرقه وحفظها فى باطن الأرض أو فى أعماق البحار إلا أن استخراجه واستخدامه يسبب أضراراً نذكر منها ما يلى :

١ - عمال استخراج الفحم من المناجم هم أكثر عمال المناجم تعرضاً للخطر بسبب اشتعال الحرائق فى المناجم أو الاختناق أو الانفجارات الناتجة عن الغازات الكربونية وسوء التهوية .

فى الولايات المتحدة يموت سنوياً قرابة ٦٠٠٠ شخص بسبب تلك الحوادث وفى الصين يموت سنوياً ما بين ١٠٠٠٠ و ٢٠٠٠٠ عامل، كما يصاب بأمراض الرئة سنوياً ما يقرب من ٦٠٠,٠٠٠ عامل، ويطلق على هذا المرض اسم مرض الرئة السوداء .

٢ - **التأثيرات المناخية والبيئية** : عمليات نقل الفحم واستخراجه من المناجم القريبة من سطح الأرض تؤثر على طبيعة سطح الأرض Landscape وتلوث المياه، وهو ما يضر بالإنسان والبيئة الطبيعية ويؤثر على كل الكائنات الحية .

كما أن طرق التعدين الخاطئة تزيل مساحات كبيرة من الغابات وتحدث تعرية لسفوح الجبال وتتلف التربة، وتسد الأنهار والجداول المائية. أما التعدين من

المناجم العميقة فلها أخطار كثيرة، فعندما ينهار المنجم يتأثر سطح الأرض فى المناطق القريبة وتنهار المنازل والطرق وغير ذلك من المنشآت .

أما مياه الصرف من المناجم فغالبًا ما تحتوى على نسبة عالية من الأحماض الكبريتية المتكونة من الكبريت المختلط بالفحم، وهذه المياه تختلط مع المياه الجوفية القريبة من سطح الأرض فتلوثها، ولاسيما أن بها نسبة عالية من الأملاح السامة للعناصر الثقيلة مثل الزئبق وينتج عنها هلاك كل أشكال الحياة على سطح الأرض فى المناطق القريبة من تلك المناجم .

٣ - **الانبعاثات السامة** : ينبعث عن احتراق الفحم من محطات توليد الكهرباء ثلثا أكاسيد الكبريت المتصاعدة إلى الجو و ١/٥ أكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت تكون فى الجو بعض أملاح الكبريتات التى تسبب الأمطار الحمضية، كما أن تواجد تلك الأملاح الحمضية فى الهواء تؤدى إلى أمراض الرئة ويموت بسببها عدد غير قليل من الناس. كما أن لها آثارًا ضارة بالمبانى الأثرية المبنية بالحجر الجيرى .

أما أكاسيد النيتروجين فإنها تتفاعل مع المركبات العضوية الموجودة فى الجو لتكون ضبابًا يساعد على تكون الأوزون فى الطبقات السفلى من الغلاف الجوى المحيط بالأرض .

والمحطات التى تعمل بالفحم فى الولايات المتحدة تنفث فى الجو ما يقرب من ٤٨ طنًا متريًا من الزئبق فى السنة، وهو عنصر سام جدًا، ويدمر النظام البيئى بعد أن يتحول إلى ميثيل الزئبق Methyl Mercury ويدخل فى أنسجة الأسماك وأوراق النباتات وثمارها. كما أن استنشاقه يؤثر على الرئة فى الكائنات الحية كما يؤثر على الجهاز العصبى للأطفال ويتسبب فى أورام المخ وتدمير الجهاز العصبى .

الطرق المختلفة لإنقاص بعض مثلثات الاستقرار المبينة فى شكل (١):

أولاً: الاقتصاد في استهلاك الطاقة:

١ - رفع كفاءة السيارات وعددها ٢ بليون سيارة على مستوى العالم، بحيث تقطع ٦٠ ميل/جالون (mpg) بدلاً من ٣٠ ميل / جالون .

٢ - قيادة السيارة لمسافة ٥٠٠٠ ميل فى السنة بدلاً من ١٠٠٠٠ ميل .

٣ - توفير استهلاك الكهرباء بالمنازل والمكاتب بنسبة ٢٥ ٪ .

ثانيا : توليد الطاقة الكهربائية :

٤ – رفع كفاءة ١٦٠٠ محطة توليد كهرباء تعمل بالفحم بنسبة ٤٠ إلى ٦٠ ٪ .

٥ – تحويل ١٤٠٠ محطة توليد كهرباء لتعمل بالغاز الطبيعى .

ثالثا : جمع وتخزين الغازات الكربونية (CCS) :

٦ – استخدام نظام CCS أى جمع وتخزين الغازات الكربونية فى ٨٠٠ محطة توليد كهرباء تعمل بالفحم .

٧ – استخدام نظام CCS فى محطات إنتاج الهيدروجين من الفحم لاستخدامه فى تسيير ١,٥ بليون سيارة .

٨ – استخدام نظام CCS فى محطات إنتاج السنجاز Syngas .

رابعا : إنتاج طاقات بديلة :

٩ – مضاعفة عدد المحطات النووية التى تعمل حالياً لتحل محل المحطات التى تعمل بالفحم .

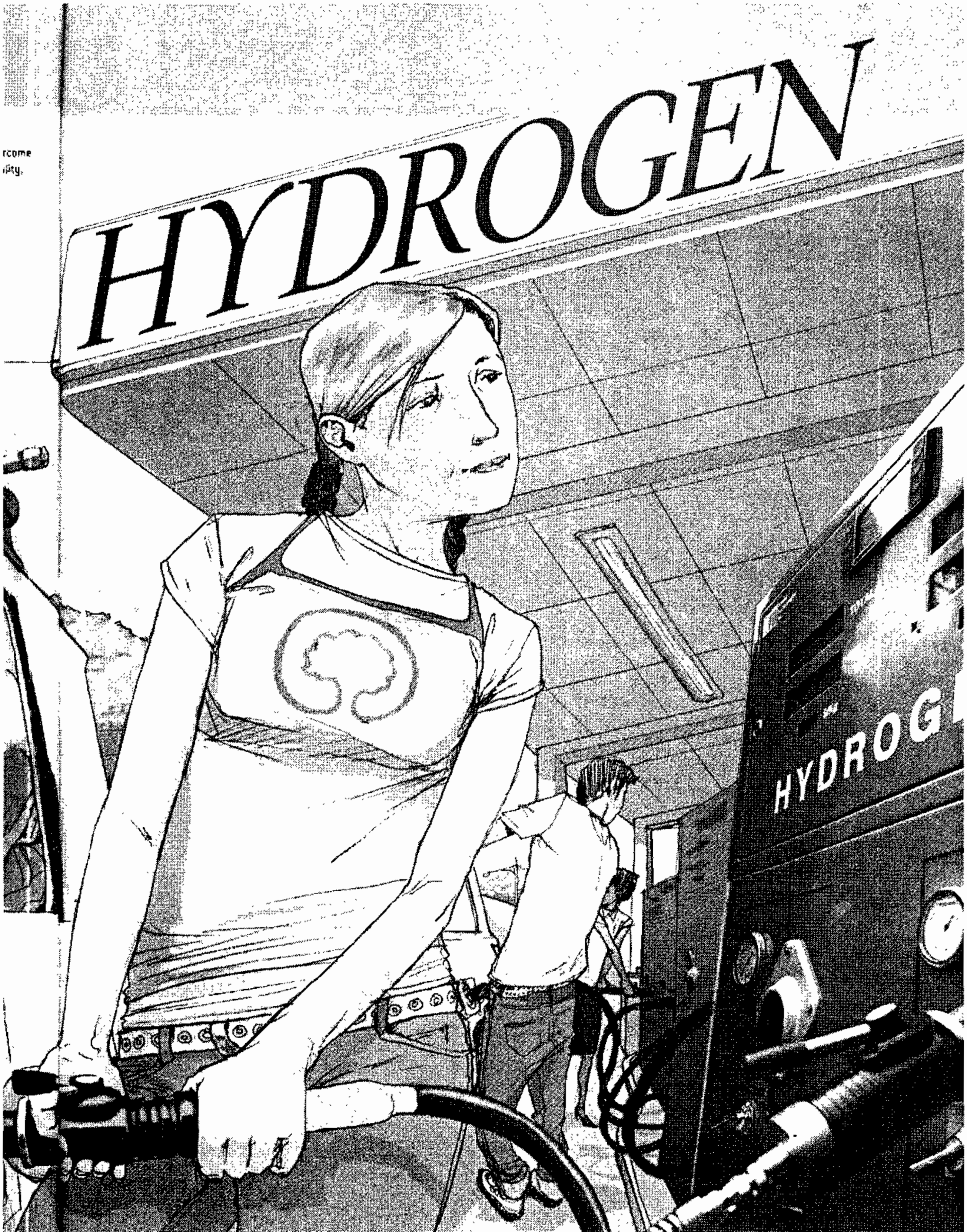
١٠– زيادة القدرة الكهربائية المولدة من طاقة الريح ٤٠ مرة قدر المولدة حالياً لتحل محل محطات الطاقة التى تعمل بالفحم .

١١– زيادة القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية ٧٠٠ مرة قدر المنتجة حالياً، لتحل محل الفحم .

١٢– زيادة القدرة الكهربائية من طاقة الريح ٨٠ مرة قدر المنتجة حالياً لإنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربى للماء .

١٣– تشغيل ٢ بليون سيارة باستخدام الإيثانول، ويخصص سدس إنتاج العالم من الذرة لهذا الغرض .

١٤– التوقف تماماً عن إزالة الغابات .


HYDROGEN
HYDROG

الباب الثانى

استغلال الهيدروجين كمصدر للطاقة في وسائل النقل

مقدمة :

لعل إيجاد وقود نظيف لاستخدامه فى وسائل النقل هو من أصعب الأمور، وهذه الصعوبة تنشأ عن عاملين : أولهما الازدياد المستمر فى عدد السيارات الذى بلغ فى الوقت الحالى ٧٥٠ مليون سيارة، ينتظر أن يتضاعف هذا العدد عام ٢٠٥٠ نظراً لارتفاع القدرة الشرائية لبعض الشعوب مثل الهند والصين وغيرهما من الدول الآخذة فى النمو الاقتصادى السريع، والسبب الثانى أن ٩٧ ٪ من الوقود المستخدم فى تلك السيارات هو البترول .

فى المستقبل القريب يجب العمل على وضع حلول لتلك المشاكل بتحسين كفاءة السيارات للإقلال من الوقود المستخدم فى تسييرها، وبالتالى نقلل من غازات ثانى أكسيد الكربون المسببة للاحتباس الحرارى. إلا أن هذا لا يؤدى إلى خفض ملحوظ فى تصاعد ثانى أكسيد الكربون، نظراً للتزايد السريع فى عدد السيارات .

لعل العامل المؤثر هو أن تتحول السيارات إلى استخدام وقود غير بترولى يحتوى على نسبة صغيرة من الكربون مثل الإيثانول، أو تتحول إلى استخدام الكهرباء أو الهيدروجين فلا يتصاعد منها غاز ثانى أكسيد الكربون. كانت العقبة أمام استخدام الكهرباء هو أن البطاريات المعروفة ثقيلة الوزن ولا يمكنها حفظ كمية من الطاقة الكهربائية تكفى السيارة لقطع مسافة ٣٠٠ ميل كما هو الحال عند استخدام موتورات الاحتراق الداخلى التى تعمل بالجازولين .

الطرق المختلفة لتحضير الهيدروجين :

فى الوقت الحالى يتم إنتاج الهيدروجين عن طريق تسخين الغاز الطبيعى فى وجود الماء لدرجة حرارة مرتفعة، ويستخدم فى العديد من الصناعات الكيماوية مثل تحضير النشادر وفى إزالة الكبريت من خام البترول .

ويستهلك ٢ ٪ من إجمالى الطاقة العالمية فى إنتاج الهيدروجين. فإذا ما استخدم كل هذا القدر من الهيدروجين فى تسيير السيارات سوف يكفى ١٥٠ مليون سيارة، أى حوالى ٢٠ ٪ من السيارات على مستوى العالم .

وتصنيع الهيدروجين من الغاز الطبيعى ينتج عنه انبعاث غاز ثانى أكسيد الكربون إلا أنه إذا ما استخدم فى تسيير السيارات باستخدام خلايا الوقود فسيكون انبعاث ثانى أكسيد الكربون يعادل ١١٠ جرام لكل كيلو متر تتحركه السيارة، أما مع استخدام

الجازولين فإن كمية ثانى أكسيد الكربون الخارجة من ماسورة العادم تصل إلى ١٩٥ جرام لكل كيلو متر تتحركه السيارة .

ولما كان الغرض الأساسى من استخدام الهيدروجين هو عدم انبعاث ثانى أكسيد الكربون إلى الجو فإنه لتحقيق هذا الهدف يتم تجميع هذا الغاز (ثانى أكسيد الكربون) فى أسطوانات تحت ضغط مرتفع وحقنه فى آبار البترول العميقة التى جفت؛ لينتشر فى مسام الصخور، أو أن يتم حقنه فى أعماق البحار فيذوب فى الماء ويتفاعل مع الأملاح الموجودة فيه .

طريقة أخرى لتحضير الهيدروجين من الكتل الحيوية biomass أى مخلفات المحاصيل الزراعية والحيوانية بتسخينها فتتحلل إلى هيدروجين وأول أكسيد الكربون وهو عديم التأثير على الغلاف الجوى، إلا أنه سام إذا تم استنشاقه .

يمكن تحضير الهيدروجين من الإيثانول الذى يتم تصنيعه من تخمير نشا الذرة أو سكر القصب، وينتج عن هذه العملية ثانى أكسيد الكربون إلا أن مقدار ما يضاف إلى الغلاف الجوى من هذا الغاز يساوى ما أخذه النبات من الجو أثناء نموه، إذن المحصلة صفر .

سبق أن ذكرنا إحدى الطرق الأساسية لتحضير الهيدروجين بتحويل الفحم إلى غاز يسمى سنجاز Syngas وهو خليط من غازى الهيدروجين وأول أكسيد الكربون .

ويمكن الحصول على الهيدروجين بتحليل الماء كهربائيًا. والطاقة الكهربائية اللازمة لتلك العملية يمكن الحصول عليها من طاقة الريح أو الخلايا الشمسية أو طاقة المساقط المائية أو من شبكة كهرباء المدينة فى الأوقات التى يقل فيها الطلب على الكهرباء عندما تتوقف المصانع، أى بعد منتصف الليل، وبذلك يحتفظ بالطاقة الكهربائية الزائدة عن الحاجة على شكل هيدروجين .

وتبلغ تكلفة إنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربى أو من تحليل الكتل الحيوية إلى غاز من ٦ إلى ١٠ دولارات للكيلو جرام، وكيلو جرام من الهيدروجين يعطى طاقة مماثلة لجالون من الجازولين، إلا أنه سيدفع السيارة لمسافة أطول، حيث إن كفاءة المحرك الذى يعمل بالكهرباء الناتجة عن الهيدروجين بواسطة خلايا الوقود الذى سيرد ذكرها فيما بعد، ضعف كفاءة محرك الاحتراق الداخلى الذى يعمل بالجازولين. وطبقاً للتقديرات التى أجرتها مراكز البحوث فى الولايات المتحدة وكندا، سوف ينخفض سعر الهيدروجين مع زيادة إنتاجه وتوزيعه ليصل إلى من ٢ إلى ٤ دولارات للكيلو جرام، وطبقاً لهذه التقديرات سوف يصبح سعر الهيدروجين أقل من سعر الجازولين فى تسيير السيارات .

والمحطات النووية التى ينتظر أن يزداد عددها فى العقود القادمة لتوليد الكهرباء يمكنها أن تحلل الماء لإنتاج الهيدروجين والأوكسجين عن طريق استخدام الحرارة الشديدة الناتجة فى قلب المفاعل والتى يحدث عنها تفكك لجزيئات الماء بتفاعل كيميائى حرارى إلى هيدروجين وأكسجين. إلا أن التخلص من النفايات الذرية تمثل صعوبة لا تقل عن صعوبة التخلص من ثانى أكسيد الكربون .

طرق نقل الهيدروجين من مواقع الإنتاج إلى محطات التوزيع :

كما سبق أن ذكرنا، الهدف من إنتاج الهيدروجين هو استخدامه كوقود لتشغيل نوع جديد من السيارات تعمل بخلايا الوقود التى تقوم بإنتاج الكهرباء من الهيدروجين كما سيأتى فيما بعد .

فى الدول التى بها مصادر للطاقة المتجددة مثل الكتل الحيوية والرياح والطاقة الشمسية يمكنها الحصول على الهيدروجين بسهولة بواسطة التحليل الكهربى. إلا أن المشكلة تقع فى طريقة نقله من مكان إنتاجه إلى حيث يمكن استخدامه. فى جميع الدول توجد آلاف من محطات الوقود لتموين السيارات بالجازولين، إلا أن تحويل تلك المحطات لتموين السيارات بالهيدروجين بدلاً من البنزين ليس بالأمر اليسير .

ولعل مشكلة إنشاء بنية تحتية لنقل وتوزيع الهيدروجين أشبه بفزورة البيضة والدجاجة فأيهما أتى أولاً؛ فالعملاء لن يشتروا سيارات الهيدروجين دون وجود محطات لتموينها بالغاز، وأصحاب محطات الوقود لن يغيروا نشاطهم دون وجود أعداد كبيرة من سيارات الهيدروجين تسير فى الشوارع .

وكحل لتلك المشكلة يمكن فى بداية الأمر استخدام شاحنات لنقل الهيدروجين من مكان إنتاجه إلى محطات الوقود التى تخصص جزءاً من نشاطها لتموين سيارات الهيدروجين .

قد قدرت شركة جنرال موتورز عدد المحطات المطلوبة لتموين مليون سيارة كدفعة أولى ١٢٠٠٠ محطة فى المدن والطرق السريعة، كل منها يكلف مليون دولار بما فى ذلك تكلفة محطات الإنتاج وشبكة النقل من أماكن الإنتاج إلى محطات التوزيع .

قد تبدو تلك المبالغ باهظة، لكن لو ألقينا نظرة عن تكلفة إنشاء البنية التحتية لمحطات الوقود التقليدى سنجد أن تكلفة البنية التحتية وسعر الوقود فى الثلاثين سنة القادمة لمنطقة شمال أمريكا على سبيل المثال تصل إلى ١,٣ تريليون دولار، نصفها سيدفع للدول المنتجة للبترول ليستغل الجزء الأكبر منه فى أعمال التنقيب والاستخراج، وحوالى ٣٠٠ بليون ستنفق على أعمال التقطير وإنشاء أنابيب نقل

البترول وغير ذلك من نفقات، ولو نظرنا إلى المنشآت والبنية التحتية لإنتاج ونقل الهيدروجين سنجدها مكلفة بنفس القدر .

ومن الممكن أن ينتج الهيدروجين فى محطات كبيرة موزعة على مختلف المناطق ثم يتم حفظه فى خزانات كبيرة تحت ضغط مرتفع أو على شكل هيدروجين سائل ويتم نقله بعد ذلك إلى محطات التوزيع بواسطة الشاحنات أو شبكة أنابيب شبيهة بشبكة الأنابيب التى تنقل الغاز الطبيعى، ومن الممكن إنتاج الهيدروجين فى محطات التوزيع ذاتها أو فى المنزل من الغاز الطبيعى أو بتحليل الماء بالكهرباء من شبكة كهرباء المدينة فى الأوقات التى ينخفض فيها استهلاك الكهرباء فى الساعات المتأخرة من الليل .

ولعل ذلك هو الحل الأمثل عندما يكون عدد السيارات التى تستخدم الهيدروجين قليلاً، وعندما يصل عدد السيارات التى تعمل بالهيدروجين حوالى ٢٥ ٪ من مجموع السيارات سيصبح من الأفضل إنشاء محطات مركزية كبيرة لإنتاج الهيدروجين وشبكة من الأنابيب لتوصيله إلى محطات التوزيع .

وتختلف طرق إنتاج الهيدروجين تبعاً للمنطقة المقام فيها محطة الإنتاج، فمثلاً فى الأماكن الغنية بمساقط المياه يمكن توليد الهيدروجين بالتحليل الكهربى، ونفس الشيء بالنسبة للمناطق التى بها رياح شديدة حيث تستخدم الكهرباء الناتجة عن المراوح الهوائية فى تحليل الماء وإنتاج الهيدروجين، والمدن الصغيرة يمكنها الاعتماد على الشاحنات فى نقل الهيدروجين .

ونمو البنية التحتية لشبكة نقل وإنتاج الهيدروجين يجب أن تسير جنباً لجنب مع إنتاج السيارات؛ حتى يمكن تشجيع الجمهور على استخدام سيارات الهيدروجين ولاسيما فى المدن؛ للإقلال من تصاعد غازات ثانى أكسيد الكربون. إلا أن هذا الانتقال من الوقود البترولى إلى وقود الهيدروجين بصفة تامة قد يستغرق بضعة عقود وسيكلف بلايين الدولارات، لكن ليس هناك حل آخر للحفاظ على الحياة على كوكب الأرض وإيجاد مصدر جديد للطاقة كبديل للوقود الكربونى الآخذ فى النضوب والملوث للبيئة والذى ارتفع سعره بشكل غير مسبوق .

الجهود المبذولة حاليا نحو إنشاء شبكة لنقل الهيدروجين :

فى بداية عام ٢٠٠٥ تم افتتاح محطة تجريبية لإمداد السيارات بالهيدروجين فى لاثام - نيويورك Latham N.Y وهى محطة ملحقة بمحطة لتزويد السيارات بالجازولين، ويتم استخراج الهيدروجين فيها من الغاز الطبيعى المستخدم فى شبكة أنابيب الغاز بالمدينة باستخدام بخار الماء .

وهذه المحطة بجانب إمداد السيارات بالهيدروجين توفر بعض الهيدروجين لإمداد

مصفوفات من خلايا الوقود تستخدم فى إنارة المبنى الرئيسى للمحطة، كما تتم تدفئته بالحرارة الخارجة من تلك المصفوفات .

وحجم المحطة التى تقوم بتحضير غاز الهيدروجين التى يمكن أن توضع فى محطات تموين السيارات بالوقود؛ تقترب من حجم موقد البوتاجاز الكبير ويمكنها أن تملأ تانك الوقود بالسيارة بغاز الهيدروجين فى فترة زمنية تصل إلى ست دقائق .

لقد قدر مهندسو شركة جنرال موتورز GM مبلغاً من ١٠ إلى ١٥ بليون دولار لإنشاء محطات إمداد السيارات بالهيدروجين بحيث لا تبعد عن أى سيارة بمسافة تزيد عن ٢ ميل، وفى الطرق السريعة تنشأ محطات بين الواحدة والأخرى ٥ أميال، وهذه المحطات مجتمعة يمكنها أن تمد مليون سيارة تعمل بالهيدروجين .

لقد أكدت أكاديمية العلوم الأمريكية أن حل المشاكل الصعبة التى تعترض إنتاج الهيدروجين وتصنيع خلايا الوقود بسعر مناسب سوف تستغرق بضع عقود. من تلك المصاعب كيفية استخراج الهيدروجين دون السماح لغاز ثانى أكسيد الكربون بتلويث الجو مما ينتج عنه ارتفاع درجة حرارة الأرض. فاستخراج الهيدروجين من الميثان أو الغاز الطبيعى أو المثانول يؤدى إلى تصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون، ولابد من التخلص منه كما سبق أن ذكرنا. كما أن صناع خلايا الوقود لديهم مشاكل؛ فوجود بعض الشوائب فى الهيدروجين تضر بخلايا الوقود، ومن ثم من واجب الصناعات الكيميائية أن تهتم بالتخلص من تلك الشوائب. بعد حل تلك المشاكل تبقى مشكلة التمويل، فالتمويل اللازم لإنشاء البنية التحتية للهيدروجين فى القرن الواحد والعشرين يشبه التمويل الذى أنفق على إنشاء الطرق الحديدية فى القرن التاسع عشر والتمويل الذى أنفق على إنشاء الطرق السريعة للسيارات فى القرن العشرين. وقرار تمويل هذه المشروعات لا يقل أهمية عن إجراء البحوث اللازمة لإيجاد حلول للعقبات التكنولوجية التى سبق الحديث عنها، وسوف يحدد ما إذا كان من الممكن تسيير مركبات الهيدروجين على الطريق بعد عقد من الزمان أو أكثر من ذلك .

شبكة جديدة لعصر جديد شبكة كهربائية فائقة التوصيل تنقل الكهرباء والهيدروجين:

مقدمة : فى مساء ١٤ أغسطس عام ٢٠٠٣ انقطع التيار الكهربائي عن مدينة نيويورك والمنطقة المحيطة بها فى شمال شرق الولايات المتحدة وأنتاريو، ويبلغ تعداد السكان بهذه المنطقة ٤٠ مليون نسمة؛ وذلك عندما توقفت محطة توليد الكهرباء فى أهايو، ونتج عن ذلك ازدياد الحمل على باقى أجزاء الشبكة مما أدى إلى ارتفاع درجة حرارة أسلاكها فتمددت وارتخت أسلاك الجهد العالى وسقطت على الأشجار مما أدى إلى حدوث تماس كهربائى وتعطلت نتيجة لذلك ٢٦٥ محطة أخرى وأظلمت منطقة مساحتها ٢٤٠٠٠ كيلومتر مربع .

أنشئت شبكة الكهرباء فى شمال الولايات المتحدة على عدة مراحل واستغرق اتمامها مائة سنة، وقد وصلت فى الوقت الحالى إلى عدة ملايين من الكيلومترات طولاً وتحمل الطاقة الكهربائية تحت جهد ٧٦٥ كيلوفلط .

ومن مساوئ الشبكة الحالية أنها لا تتمشى مع المتطلبات التكنولوجية التى ستسود فى القرن الواحد والعشرين، وما سينتج عنها من ازدياد كبير فى استهلاك الكهرباء والانتقال من محطات لتوليد الكهرباء تعمل بالوقود الكربونى إلى نوع آخر من المحطات ووسائل نقل تعمل بأنواع أخرى من الوقود؛ لا يؤدى إلى زيادة غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو .

ومن غير الممكن رفع الجهد الكهربائى فى الشبكة الحالية إلى مليون فلط مثلاً لكى تزيد من الطاقة المحمولة عبر هذه الشبكة؛ لأن الارتفاع إلى مثل هذا الجهد سيؤدى إلى جعل المجال الكهربى الشديد يمزق المواد العازلة لهذه الكابلات فتحدث شوارات كهربائية فى العديد من المناطق،كما ترتفع درجة حرارة الأسلاك مما يؤدى إلى ارتخائها وملامستها للأشجار والمبانى المرتفعة فتحدث حرائق فى أماكن متعددة .

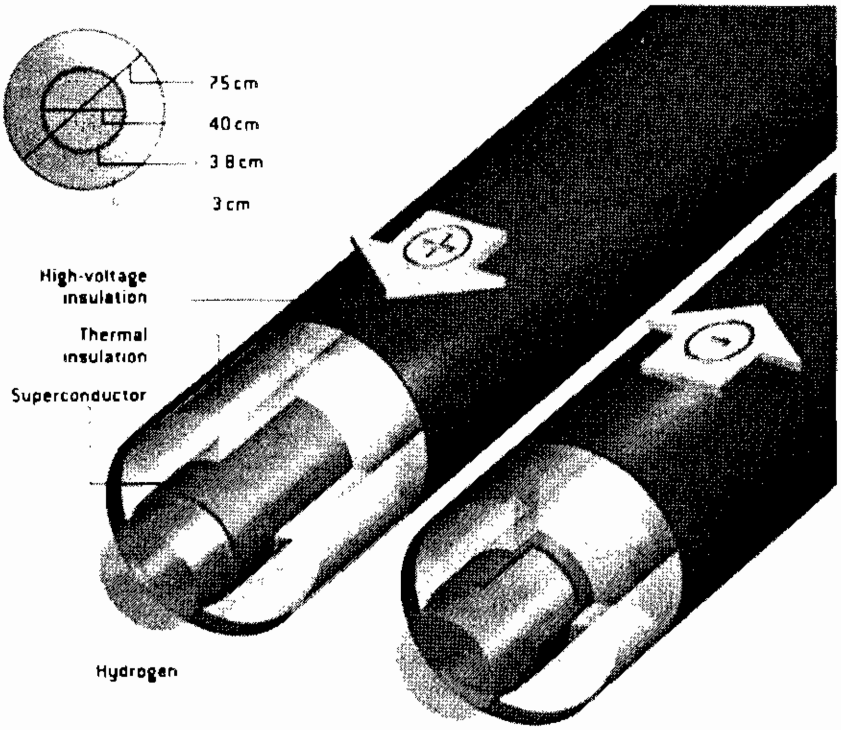
من الواضح الآن عدم إمكانية أن تقوم الشبكة الكهربائية بوضعها الحالى بإمداد وسائل النقل المهجنة hybrid cars التى تقطع جزءاً من رحلتها باستخدام الكهرباء والجزء الآخر باستخدام الجازولين فى محرك الاحتراق الداخلى، هذا مع العلم أن الكهرباء التى يمكن إضافتها من مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الريح والمساقط المائية والطاقة الشمسية غير ثابتة المقدار فهى تصل بشكل متقطع غير مستديم .

الكابلات فائقة التوصيل وشبكة جديدة لعصر جديد :

ظاهرة التوصيل الفائق اكتشفها العالم الهولندى كامرلنج أنس عام ١٩١١، فقد لاحظ أنس أن بعض الفلزات عندما تبرد لدرجات حرارة منخفضة جدًا تصل إلى درجة غليان الهيدروجين السائل، أى ٢٠ كلفن (-٢٥٣° سلسيوس) فإنها تفقد مقاومتها للتيار الكهربى وتصبح فائقة التوصيل للكهرباء. إلا أن هذه الظاهرة لم تستغل تكنولوجيًا إلا منذ وقت قريب عندما استخدمت فى تبريد الأسلاك المتصلة بأجهزة الرنين المغناطيسى ومُعجِّلات الأجسام النووية ولتغذية المغناطيسات ذات المجال المغناطيسى الذى يفوق ٤ تسلا والتى تحتاج إلى تيار كهربائى شديد، كما استخدمت فى الترانسفورمرات والموتورات والمولدات التى تمر فيها تيارات كهربائية كبيرة .

فى الوقت الحالى توجد مجموعة من المهندسين والفيزيائيين يدرسون نظام حديث لنقل الكهرباء من محطات التوليد إلى المستهلك عبر شبكة توزيع تتكون من أسلاك مبردة بالهيدروجين السائل عند درجة ٢٠ كلفن لتصبح فائقة التوصيل للكهرباء، ويطلق على تلك الشبكة super grid أى الشبكة فائقة التوصيل، ومن

المقرر أنها ستعمل إلى جانب الشبكة الحالية، وتتكون من محطات توليد وكابلات فائقة التوصيل؛ لكى تزيد من قدرتها على تحمل زيادة الأحمال المتوقعة، كما أنها ستقوم كذلك بنقل الهيدروجين من أجل استخدامه فى السيارات التى من المنتظر أن تعمل بخلايا الوقود وذلك خلال الأنابيب التى تحيط بالكابلات التى تحمل الكهرباء وتقوم بتبريدها بحيث تصل إلى حالة التوصيل الفائق كما فى شكل (١٦) .



	Voltage/Temperature	Flow rate	Power delivered
DC circuit	+50,000 volts and −50,000 volts	50,000 amperes	5,000 megawatts electric
Liquid hydrogen	20 kelvins	0.6 cubic meter/ second in each pipe	10,000 megawatts thermal

شكل (١٦) الكابلات فائقة التوصيل يمكنها نقل الطاقة على شكل طاقة كهربية وطاقة كيميائية. القدرة الكهربائية تنتقل بدون مقاومة كهربية خلال الأنبوبة المصنوعة من مادة فائقة التوصيل. ويسرى الهيدروجين السائل داخل تلك الأنبوبة المصنوعة من المادة فائقة التوصيل فيبردها إلى درجة ٢٠ كلفن لكى تصبح فائقة التوصيل. الكابل فائق التوصيل عبارة عن زوج من الكابلات قطر كل منها حوالى متر يمكنه نقل قدرة تصل إلى خمسة جيجاواط و ١٠ جيجاواط من الطاقة الحرارية .

والشبكة فائقة التوصيل التى تحمل الهيدروجين السائل ليست مهمتها عملية النقل فحسب، بل تقوم كذلك بحفظ الطاقة الناتجة عن الوسائل غير التقليدية مثل طاقة الريح والطاقة الشمسية وتعظم الاستفادة منها. كما أنها ستسهم فى الانتقال من مصادر الطاقة التى تزيد من الغازات الكربونية التى لها تأثير الصوبة على مناخ الكرة الأرضية إلى مصادر نظيفة غير ملوثة للبيئة .

تبدو فكرة الشبكة فائقة التوصيل شيئاً غير عملى، إلا أنه فى حقيقة الأمر قد تمكن العلماء فى شركة IBM عام ١٩٦٧ من نشر بحث أجروه على كابل طوله ١٠٠٠ كيلو متر مصنوع من مادة النيوبيم – قصدير Niobiumtin يمكن تبريده بواسطة الهيدروجين السائل ليصبح فائق التوصيل للكهرباء، أى أن مقاومته للتيار الكهربائى تصبح قريبة من الصفر ومن ثم يمكنه أن يحمل تياراً مستمراً DC current فائق الشدة بحيث ينقل قدرة كهربائية تصل إلى ١٠٠ جيجاواط، وهى القدرة التى يمكن أن تنتج عن ٥٠ محطة للطاقة النووية .

لقد تمكن بعض العلماء من وضع مخطط لشبكة فائقة التوصيل يقوم فيها الهيدروجين السائل بتبريد كابلات الكهرباء إلى درجة التوصيل الفائق ونقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة، وكذلك نقل الطاقة الكيماوية الممثلة فى الهيدروجين وتوصيلها إلى أماكن الاستخدام .

فى الوقت الحالى بدأت العديد من الدول تجرى تجاربها على استخدام الكابلات ذات التوصيل الفائق لنقل الكهرباء والهيدروجين عبر مسافات طويلة ومن تلك الدول اليابان وكوريا الشمالية ودول الاتحاد الأوربى والولايات المتحدة. وباستخدام الهيدروجين السائل تنخفض درجة حرارة تلك الكابلات إلى ٢٠ كلفن. فى تلك التجارب استخدم سلكان فائقا التوصيل أحدهما عند جهد موجب قدره ٥٠ كيلوفلط والآخر عند جهد سالب له نفس المقدار، والسلكان يحملان تياراً قدره ٥٠ كيلو أمبير وهو تيار أعلى من أن يتحمله أى موصل. وكابل من هذا النوع يستطيع أن ينقل قدرة كهربائية تصل إلى ٥ جيجا واط لمسافة مئات الكيلومترات وتظل مقاومته قريبة من الصفر وفقده للطاقة لا يذكر (فى الكابلات العادية يفقد ١٠ ٪ من الطاقة التى تولدها محطات الكهرباء على شكل حرارة) .

ولما كانت الكابلات فائقة التوصيل تبرد بالهيدروجين السائل فإنها تنقل الهيدروجين السائل الذى يعتبر طاقة كيماوية (سوف نسميها طاقة هيدروجينية) إلى جانب نقلها للطاقة الكهربائية. ومن ثم فإن الجيل الجديد من المحطات النووية يجب أن ينتج الهيدروجين إلى جانب الكهرباء، وإنتاج أى من نوعى الطاقة له نفس الكفاءة.

الطاقة الكهربائية Electricity والطاقة الهيدروجينية hydricity

لعل إنتاج الطاقة فى صورة قدرة كهربائية، أو فى صورة طاقة كيماوية عن طريق غاز الهيدروجين سيفتح المجال أمام اختيارات عديدة، وسوف تساعد الشبكة فائقة التوصيل التى تنقل الهيدروجين السائل إلى جانب التيار الكهربائى على خفض سعر الوقود المستخدم فى السيارات المهجنة (التى تستخدم الهيدروجين والكهرباء كمصدرين للطاقة المحركة أو الجازولين والهيدروجين) وتسمى hybrid cars .

فى الوقت الحالى قامت شركتا مازدا و BMW بعرض سيارات مهجنة hybrid cars تستخدم الهيدروجين والجازولين، أى أنها بها تنكان أحدهما للهيدروجين والآخر للبنزين، فعندما ينفد الهيدروجين تواصل السيارة رحلتها باستخدام البنزين. وفى نوع آخر من السيارات المهجنة تستخدم بطاريات الوقود التى تنتج الطاقة الكهربائية من غازى الهيدروجين والأوكسجين إلى جانب وقود الجازولين أو الغاز الطبيعى، أى أنها تقطع جزءاً من الرحلة مستخدمة موتور يعمل بالكهرباء وباقى الرحلة بموتور احتراق داخلى يعمل بالبنزين .

ومن المعروف أن موتور الاحتراق الداخلى لا تزيد كفاءته عن ٣٠ ٪، أما السيارات التى تستخدم خلايا الوقود وموتور يعمل بالكهرباء فإن كفاءتها تصل إلى ٦٠ أو ٦٥ ٪ .

ولتسهيل الحصول على الهيدروجين ونقله، تعتبر الشبكة فائقة التوصيل الطريقة المثلى؛ فالمحطات النووية يمكنها أن تنتج الهيدروجين إلى جانب الكهرباء دون تصاعد أى غازات ضارة بالبيئة كثانى أكسيد الكربون. وبنقل الاثنين معاً تعتبر الشبكة فائقة التوصيل خط أنابيب ومخزن للطاقة فى آن واحد، فعلى سبيل المثال كل جزء من الشبكة طوله ٧٠ كم وقطر الأنبوبة المكونة لها ٤٠ سم وهى مملوءة بالهيدروجين السائل يكون مخزون الطاقة فيها ٣٢ جيجاواط ساعة .

من مميزات الشبكة فائقة التوصيل أنها تسمح بالتغلب على التغيرات السريعة فى الطلب على الطاقة أكثر مما تتيحه الشبكات التقليدية، وهى بذلك تقلل التذبذب فى معدلات استهلاك الطاقة زيادة ونقصاً فى الأوقات المختلفة، ومن مميزاتها أيضاً أنها تسمح باستغلال الطاقة الكهربائية الناتجة عن مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الريح والمد والجزر وضوء الشمس. ومحطات الطاقة المتجددة هذه يمكنها أن تضخ الهيدروجين فى الشبكة بدلاً من الكهرباء عن طريق تحليل الماء كهربيًا إلى هيدروجين وأكسجين، وبذلك لا نحتاج إلى الكهرباء المتولدة من محطات القوى التقليدية لإنتاج الهيدروجين السائل اللازم لتبريد الشبكة .

أما عوامل الأمان الخاصة بنقل الهيدروجين عبر مسافات طويلة فهناك خبرة ضخمة بهذا الخصوص لدى ناسا وشركات البتروكيماويات، فالهيدروجين قابل للاشتعال أكثر من الغازات الأخرى مثل الميثان، كما أنه شديد الانفجار ومن الممكن أن يتسرب من أى ثقب صغير فى أنابيب التوصيل ولذلك فلابد من عمل كل الاحتياطات اللازمة للتأكد من عدم وجود أى أماكن يتسرب منها الغاز فى الأنابيب.

وزيادةً فى الاحتياط يفضل أن تمر تلك الأنابيب فى أنفاق تحت سطح الأرض وهى وإن كانت عملية مكلفة إلا أنها ضرورية. والكابلات فائقة التوصيل تستطيع أن تحمل طاقة كهربائية أضعاف ما تحمله الشبكات العادية، وهذا يعوض بعض التكائف التى تنفق فى إنشاء بنيتها التحتية التى ستكلف الولايات المتحدة ما يقرب من تريليون دولار تقريباً وهى تكلفة قد لا تستطيع العديد من الدول تحملها .

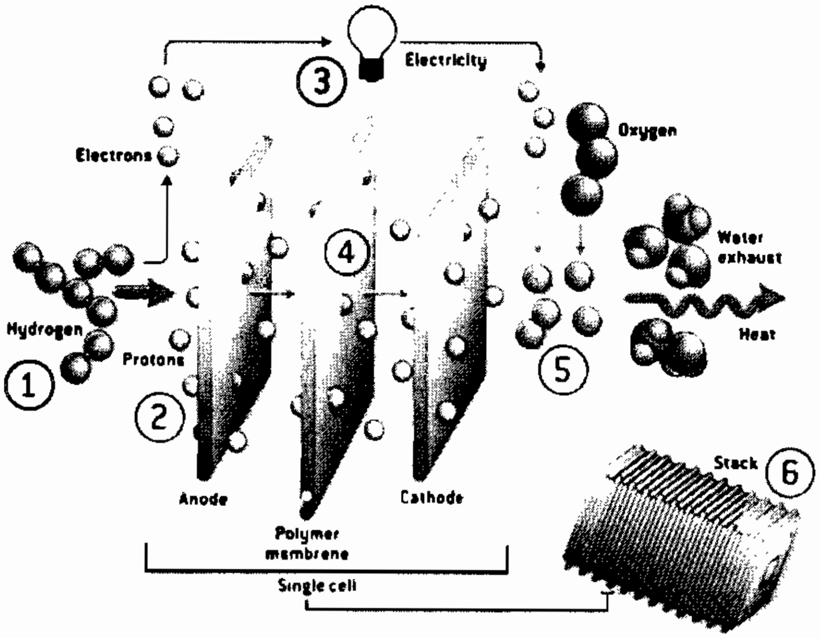
إنه من الأمور الهامة أن تسرع الدول الصناعية فى عمل نماذج أولى لشبكة فائقة التوصيل، حيث إن الشبكات الحالية قد وصلت إلى ذروة ما يمكن أن تتحمله من نقل للطاقة الكهربائية. ولو أخذنا حالة الولايات المتحدة كنموذج نجد أن إنتاج الطاقة الكهربائية قد زاد بمقدار ٢٥ ٪ فى السنوات الخمس الأخيرة، كما أن شبكة نقل الكهرباء قد ازداد طولها بنسبة ٣,٣ ٪ ومن المنتظر بحلول عام ٢٠٢٥ أن يصل الاستهلاك السنوى للطاقة إلى ١٣٤ تريليون ميجاجول. وهذه الزيادة المضطردة تجعل من الضرورى إيجاد شبكة جديدة لكى يمكن الوفاء بالزيادة المضطردة فى الطلب على الطاقة الكهربائية والتى قد تصل إلى ٤٠٠ جيجاواط فوق الطاقة المستخدمة حالياً. وشبكة الجهد الفائق قد وصلت حالياً إلى مليون فلط وهو الحد الأعلى لقدرة تحمل المواد العازلة التى تحمل عليها الأسلاك، كما أنها الحد الأعلى لأجهزة التحكم فى الشبكة التى تحمل التيار المستمر. وخطوط التيار المتردد عند ذبذبة ٦٠ هرتز يصل طولها ١٢٠٠ كيلو متر لا يمكن استخدامها؛ لأنها ستشع قدراً كبيراً من القدرة الكهربائية التى تحملها وكأنها هوائى عملاق .

لهذه الأسباب أصبح من الضرورى عمل شبكة جديدة فائقة التوصيل يمكنها أن تحمل مئات الجيجاواط ونقلها عبر مسافات طويلة حيث توجد محطات توليد الكهرباء إلى مناطق الاستهلاك .

إنتاج الكهرباء من الهيدروجين عن طريق خلايا الوقود
Fuel Cells

التطوير الذى حدث فى خلايا الوقود المنتظر استخدامها فى سيارات الهيدروجين:

خلايا الوقود المنتظر استخدامها فى السيارات التى تعمل بالهيدروجين مبينة فى شكل (١٧) فى داخل الخلية يوجد غشاء رقيق من مادة الفلوروكاربون البوليمرية ومهمة هذا الغشاء هو أن يقوم بتبادل البروتونات ويسمى proton exchange membrane ويرمز له اختصاراً (PEM) وهو يقوم بعمل الإلكتروليت الذى سبق ذكره، أى نقل الشحنات الكهربائية وكحاجز لمنع اختلاط وقود الهيدروجين والأوكسجين .



شكل (١٧) خلية وقود. خلية الوقود تولد الكهرباء طالما نمدها بغازى الهيدروجين والأوكسجين. والخلية ذات الغشاء البروتونى (PEM) بها كاثود وآنود مفصولان بواسطة غشاء بوليمرى إلكتروليتى Polymer membrane electrolyte ويغطى أحد سطحى كل من الآنود والكاثود بمادة بلاتينية محفزة. عندما تدخل ذرات الهيدروجين فى الخلية (١) يقوم المنشط على سطح الآنود بفصل الإلكترون من الذرة تاركاً البروتون (٢) يتحرك الإلكترون فى الوصلة الخارجية ليحرك الموتور (٣) بينما البروتون يمر خلال غشاء المبادل البروتونى (٤) متجهاً نحو الكاثود (٥) يقوم المحفز الذى على سطح الكاثود بجمع البروتون مع الإلكترون العائد من الوصلة الخارجية مع ذرة الأوكسجين الداخل فى الخلية من الهواء معطياً جزىء ماء وطاقة حرارية (٦) تجمع العديد من الخلايا فى مصفوفة Stack لإعطاء الفلط المطلوب .

وتتولد الكهرباء داخل الخلية عن طريق انتزاع الإلكترونات من ذرات الهيدروجين عند سطح الآنود وهو مغطى بطبقة محفزة تساعده على إتمام تلك العملية. أما البروتونات التى تمثل أيونات الهيدروجين الموجبة التكهرب فإنها تنفذ من خلال الغشاء الإلكتروليتى لتتحد بالأوكسجين والإلكترونات لتكون جزيئات الماء ويتم ذلك فى منطقة الكاثود المغطى بطبقة من المحفز. والماء هو المادة الوحيدة التى تتكون نتيجة تولد الكهرباء فى الخلية كما فى شكل (٣). وتُجمَّع خلايا الوقود على شكل حزم Stacks أو مصفوفات متصلة ببعضها على التوالى والتوازى بحيث تعطى الجهد والقدرة المطلوبة، حيث إن كل خلية تعطى جهداً كهربيًا مقداره ١,٢ فلط. ويمكن تمثيل التفاعل الذى يتم داخل خلية الوقود بالمعادلة الكيميائية التالية :

$$2H^{+} + 1/2\ O_2 + 2e \rightarrow H_2O + 286931\ KJ/Kg\ mol\ H_2 \quad (٢)$$

وقد تم اختيار خلايا الوقود كمصدر للطاقة فى وسائل النقل لارتفاع كفاءتها التى تصل إلى ٨٠ ٪، وعند استخدامها لتشغيل موتور كهربائى لتحريك السيارة فإن كفاءة تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية محركة تصل إلى ٦٠ ٪ بينما كفاءة آلات الاحتراق الداخلى لا تتعدى ٣٠ ٪ . كما أن الحرارة التى تعمل عندها تلك الخلايا لا تتعدى ٨٠°س وهى آمنة بدرجة كبيرة وتكلفة صيانتها قليلة .

ويعتمد ظهور سيارة خلايا الوقود بحلول عام ٢٠١٥ فى المقام الأول على التقدم الذى يمكن إحرازه فى صناعة غشاء التبادل البروتونى PEM، وتمثل تكلفة إنتاجه ٣٥ ٪ من إجمالى ثمن خلية الوقود، ومن التحسينات الواجب إضافتها على هذا الغشاء ما يتمثل فى عدم السماح بمرور الهيدروجين خلال الغشاء وزيادة استقراره الكيميائى والميكانيكى وقوة تحمله وزيادة عدم تأثره بالشوائب الموجودة فى وقود الهيدروجين مثل أول أكسيد الكربون، وبنواتج التفاعلات الكيميائية غير المرغوب فيها مثل تكون بيروكسيد الهيدروجين hydrogen Peroxide H_2O_2، والعمل كذلك على خفض تكلفة سعر مصفوفات تلك الخلايا .

وفى هذا الصدد قد نجحت بعض الشركات مثل بولى فويل Polyfuel فى كاليفورنيا فى إنتاج غشاء من بوليمر الهيدروكاربون بدلاً من غشاء البرفلورينيت Perfluorinated membrane وهو أرخص منه سعراً وأعلى كفاءة ويمكنه أن يعمل فى درجات حرارة مرتفعة تصل إلى ٩٥°س، وهذا يساعد على استخدام رادياتير أصغر للتخلص من الحرارة الناتجة عن التفاعل الكيميائى داخل مصفوفة الخلايا. ويتميز غشاء الهيدروكاربون الذى تنتجه شركة بولى فويل بأن عمره أطول من غشاء الفلوروكاربون بمقدار ٥٠ ٪ وينتج قدرة كهربائية ١٥ ٪ أكثر منه. وسعر المتر المربع من غشاء الفلوروكاربون يصل إلى ٣٠٠ دولار. بينما سعر غشاء شركة

بولى فويل نصف هذا الثمن. وفى الوقت الحالى يستخدم هذا الغشاء فى مصفوفات خلايا الوقود المستخدمة فى سيارات شركة هوندا مـــن نوع FCX التى تعمل بخلايا الوقود .

البحوث التي تجرى على المواد المحفزة لخلايا الوقود:

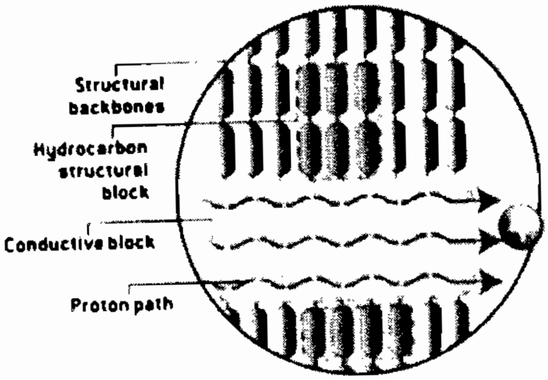
العامل الثانى لتحسين أداء غشاء تبادل البروتونات PEM هو المحفز البلاتينى الذى يغطى أحد سطحى كل من الكاثود والآنود على شكل طبقة رقيقة ويمثل ثمنه ٤٠ ٪ من سعر مصفوفة الخلايا، مهمة هذا المحفز هى تنشيط عملية اتحاد الهيدروجين والأوكسجين وتكوين الماء وانطلاق الطاقة على شكل قوة دافعة كهربية من خلية الوقود كما فى المعادلة الكيميائية التى سبق ذكرها، وهو يساعد على تأيين الهيدروجين وانطلاق البروتونات والإلكترونات أو اكتسابها .

على الجانب المتواجد فيه جزيئات الهيدروجين H_2 عند الآنود يتم أسر ذرتى الهيدروجين حيث تتحلل كل منها إلى بروتون موجب وإلكترون سالب، ثم يمر البروتون من خلال الغشاء ليصل إلى الجانب الآخر عند الكاثود حيث توجد ذرات الأوكسجين. تتفاعل البروتونات مع ذرات الأوكسجين والإلكترونات لتكون جزيئات الماء طبقاً للمعادلة (٢) التى سبق ذكرها. وهذا التفاعل لابد من التحكم فيه حتى لا يتكون بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 كمنتج ثانوى مما يتلف خلايا الوقود .

ونظراً لارتفاع سعر البلاتين الداخل فى تصنيع المادة المحفزة فإن البحوث الجارية تهدف إلى الإقلال من الكمية المستخدمة فى عمليات التصنيع مع الإرتفاع بقدرته على التحفيز ودراسة الظروف التى تجعله أكثر ثباتاً وأقل تأثراً بالتفاعلات الجانبية التى قد تتم داخل الخلية. وأحد النجاحات فى هذا الصدد ما توصل إليه الباحثون بإحدى الشركات حيث تم تصنيع محفز رقيق جداً ومثبت عليه نتوءات صغيرة كما فى شكل (١٨) بحيث تزيد من مساحة سطح المحفز، وهناك اتجاه آخر فى البحث عن استخدام مواد رخيصة مثل الكوبلت والكروم بدلاً من البلاتين .

مصفوفات خلايا الوقود والتجمد:

فى التصميمات الأولى لخلايا الوقود إذا ما انخفضت درجة حرارة الجو إلى ما دون الصفر يتجمد الماء داخلها، والماء عندما يتجمد يزداد حجمه فيحطم غشاء التبادل البروتونى أو يجعل أنابيب الماء تتفجر داخل الخلية. نتيجة للبحوث التى أجرتها شركة هوندا أمكن إنتاج خلايا وقود لا تتأثر بانخفاض درجة حرارة الجو إلى ما دون الصفر، وتستطيع السيارة أن تبدأ الحركة بسهولة عند أى درجة حرارة دون الصفر. وتتميز سيارات هوندا من طراز FCX التى تعمل بخلايا الوقود من إنتاج عام ٢٠٠٥ بأنها مزودة بمكثف كهربائى يخزن الكهرباء بين سطحيه ليعطى قدرة إضافية لفترة وجيزة لكى تتمكن السيارة من الصعود إلى أعلى منحدر، بينما السيارات الأخرى تستخدم بطاريات إضافية .



شكل (١٨) الغشاء الهيدروكاربونى Hydrocarbon يبقى مدة أطول وأقل سعراً من النوع الفلوروكاربونى Fluorocarbon ويعطى طاقة أكثر. وتزعم شركة بولى فويل Poly Fuel أنها تضع فى الخلية أغشية من بوليمر جيد التوصيل للكهرباء لتنشيط مرور البروتونات مما يساعد على إعطاء طاقة أكبر. وتلك المواد جيدة التوصيل ملتصقة بشرائح تقوم بتقوية الغشاء الهيدروكاربونى .

الخطوات الأولى لتنشيط صناعة خلايا الوقود:

لتنشيط صناعة خلايا الوقود قبل انتشار صناعة السيارات التى تعمل بالكهرباء، بدأت شركة جنرال موتورز GM بصناعة بعض المنتجات التى تدخل خلايا الوقود ضمن مكوناتها لكى تدر دخلاً يساعدها على تعويض ملايين الدولارات التى تنفقها فى البحوث الخاصة بتحسين الأداء وتخفيض تكلفة إنتاج تلك الخلايا .

من المحتمل إنتاج مولدات كهرباء تعمل بخلايا الوقود وتسويقها للمنازل والمؤسسات قبل أن تصبح السيارات التى تعمل بتلك الخلايا متاحة بعدد كبير. ومصفوفات خلايا الوقود المستخدمة لتلك الأغراض أقل تعقيداً من تلك المستخدمة داخل السيارات. وقد نجحت GM فى تصنيع محطات طاقة تعمل بخلايا الوقود، ويتم تغذيتها بالهيدروجين المستخرج من الغاز الطبيعى أو الإيثانول، وسوف تورد تلك الوحدات للجهات التى تحتاج إلى عدم انقطاع التيار الكهربائى عنها ولو لفترة وجيزة مثل المستشفيات والمصانع التى تعمل بصفة مستديمة ومراكز المعلومات الرقمية وشركات الاتصالات الهاتفية. كما أن وحدات توليد الكهرباء التى تعمل بخلايا الوقود يمكن استخدامها أثناء أوقات الذروة عندما تصبح تكلفة الكهرباء الآتية من شبكة المدينة مرتفعة، كما يمكن استخدام الكهرباء من شبكة المدينة فى توليد الهيدروجين اللازم لتلك الوحدات أثناء الفترات التى يقل فيها الطلب على الكهرباء فى الساعات المتأخرة من الليل .

وتنتج شركة GM حالياً وحدات طاقة كهربائية بخلايــا الوقـــود قدرتـــها ٧٥ كيلوات، وتلك الوحدات تحصل على ما تحتاج إليه من هيدروجين من تحليل الغاز الطبيعى أو الميثانول أو الجازولين. وعندما تنتشر السيارات التى تعمل بخلايا الوقود يمكن لوحدات الطاقة تلك أن تغذيها بما تحتاج إليه من هيدروجين ومن ثم لا تحتاج إلى مراكز كبيرة لإنتاج الهيدروجين ونقله إلى محطات بيع الوقود .

ومع تزايد توليد القوى الكهربائية فى السيارات التى تستخدم خلايا الوقود يمكن أن تصير مصدراً من مصادر الطاقة التى تغذى شبكة الكهرباء فى ساعات الذروة. فمعظم السيارات لا تتحرك ٩٠ ٪ من الوقت وتظل واقفة فى الجراجات. ولك أن تتخيل قدر الطاقة الكهربائية المتولدة من خلايا الوقود بتلك السيارات والشاحنات. فلو أن ٤ ٪ فقط من سيارات منطقة مثل ولاية كاليفورنيا تعمل بخلايا الوقود ستكون القدرة الكلية للطاقة الكهربائية المتولدة فى هذه السيارات تعادل القدرة الكهربائية فى شبكة الولاية .

الباب الثالث

السيارات التي تعمل بوقود الهيدروجين

عندما أنتج كارل بنز سيارته الأولى عام ١٨٨٦ بدأت عجلة التغير تدور، فالسيارات أحدثت تغيراً دراماتيكيًّا فى حياة الناس كما أحدثت تغيراً فى الاقتصاد العالمى لم يكن أحد يتوقعه حينذاك. فسهولة التنقل قربت المسافات بين مختلف البلاد كما ساعدت على إقامة البنية التحتية الصناعية التى أعادت تشكيل المجتمعات الحديثة .

إلا أن هذه الطفرة التكنولوجية كانت سلاحاً ذا حدين، فقد نتج عن التزايد الشديد فى إعداد السيارات مشاكل بيئية تهدد الحضارة الإنسانية القائمة على كوكب الأرض. فى عام ١٩٦٠ كان أقل من ٤ ٪ من سكان العالم يمتلكون سيارات خاصة، بعد ذلك بعشرين سنة ارتفعت تلك النسبة إلى ٩ ٪ وفى الوقت الحالى بلغت ١٢ ٪، ومن المنتظر أن تصل إلى ١٥ ٪ عام ٢٠٢٠. وحيث إن تعداد العالم سيتزايد من ستة بلايين فى الوقت الحالى ليصل إلى ٧,٥ بلايين نسمة بعد عقدين من الزمان، إذن سيتزايد عدد السيارات من ٧٠٠ مليون سيارة فى الوقت الحالى ليصل إلى ١,١ بليون خلال تلك الفترة. إذا أخذنا فى الاعتبار ارتفاع دخل الفرد من الطبقة الوسطى فى مجتمعات الدول النامية سنجد أن ملاك السيارات سيزداد عددهم لأكثر من ١,١ بليون بكثير .

فى الوقت الحالى يتركز ٣/٤ عدد السيارات فى أوربا والولايات المتحدة واليابان، ومن المتوقع أن تكون ٦٠ ٪ من الزيادة فى عدد السيارات الجديدة من نصيب الأسواق بالدول الثمانية الآخذة فى النمو وهى الصين والبرازيل والهند وكوريا وروسيا وبولندا والمكسيك وتايلاند. ولذلك فسيكون التحدى فى القرن الواحد والعشرين يتمثل فى إيجاد نوع جديد من السيارات أكثر أمناً وأعلى كفاءة وأقل خطراً على البيئة ولا ينتج عنه غاز ثانى أكسيد الكربون .

التفكير في جيل جديد من السيارات الصديقة للبيئة :

سبق أن ذكرنا أن العلماء فى مصانع السيارات بذلوا جهداً مضنياً لإيجاد نوع من الوقود يستخدم فى تسيير السيارات لا ينتج عنه ثانى أكسيد الكربون وقد وجدوا ضالتهم فى غاز الهيدروجين وخلايا الوقود وتم إزالة معظم العقبات التى تمنع استخدامهما .

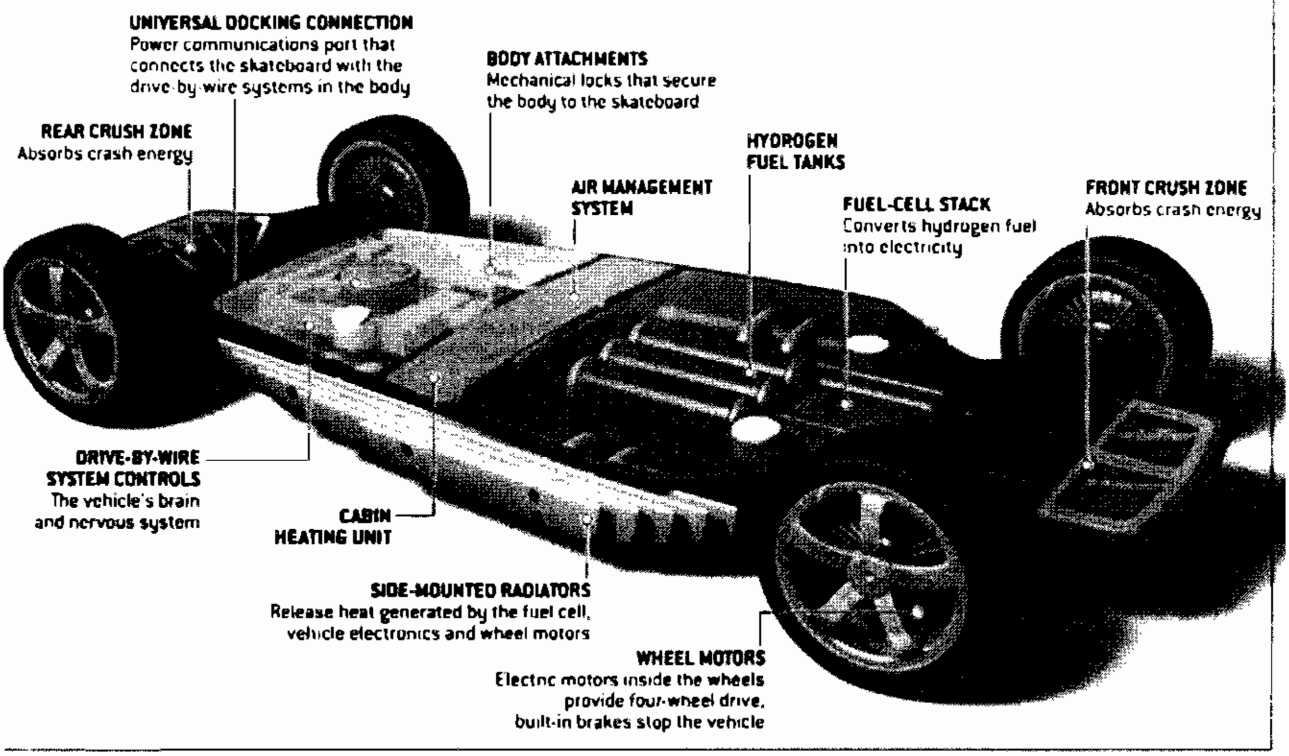
بدأت مصانع السيارات فى الولايات المتحدة وألمانيا واليابان تضع تصميمات جديدة لسيارات تعمل بالمحركات الكهربائية بدلاً من محركات الاحتراق الداخلى

كما يشمل التطويـــر كـــذلك استخـــدام النظم السلكية Wire Systems والدوائر الإلكترونية الذكية كبديل للنظم الميكانيكية المستخدمة حالياً فى توجيه السيارات (طارة الدركسيون) والتحكم فى سرعتها (بدال البنزين) وإيقافهـــا (الفرامل) وغير ذلك مـــن وصلات ميكانيكية تضـــيف وزناً إضافـيًا للسـيارة وتشغل حيزًا كبيراً داخل السيارة. وفى النظام الإلكترونى تتم عملية القيادة من خـــلال برمجيات خاصة Soft Ware تزود بها السيارة ويمكن تحديثها أثناء استخدام السيارة .

وبإحلال خلايا الوقود وموتور كهربائى بدلاً من موتور الاحتراق الداخلى يمكن استخدام شاسيه مسطح كما فى شكل (١٩) Flat Chassy وذلك يعطى المصمم الحرية الكاملة لابتكار أنماط وأشكال عديدة لهيكل السيارة. كما أن القيادة باستخدام الدوائر الإلكترونية الذكية، أى تكنولوجيا الأسلاك Wire Technology يجعل قيادة السيارة ممكنة من أى مقعد داخل السيارة. لقد أطلقت جنرال موتورز مصطلح أوتونمى Autonomy على هذا النظام السلكى كما أطلقت على هذا النوع من السيارات اسم Hy-wire وهو اختصار hydrogen by Wire .

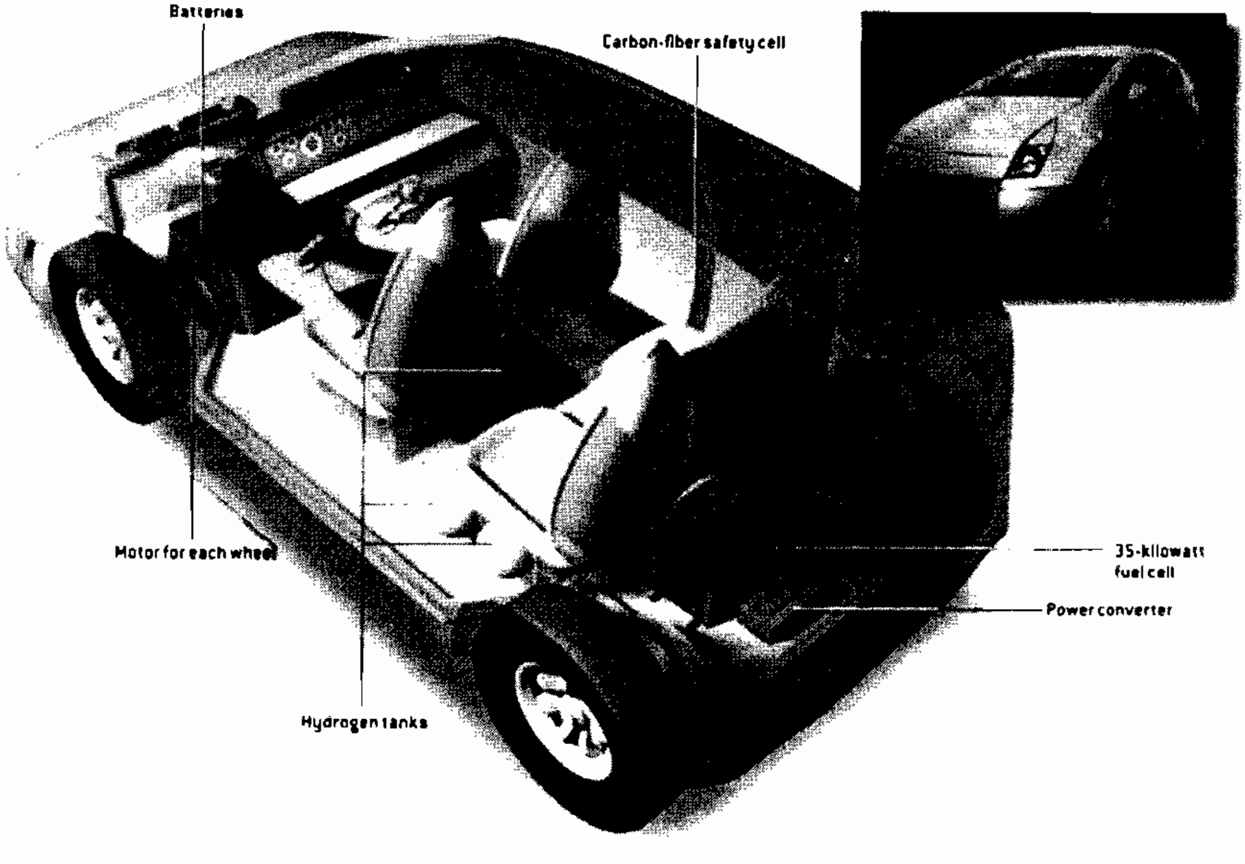
والنموذج الأول لسيارة Hy-wire يتكون من شاسيه يشبه شريحة التزلج على الجليد كما فى شكل (١٩ ، ٢٠) وفى هذا الشاسيه توجد مصفوفات خلايا الوقود والمحرك الكهربائى وأسطوانات الهيدروجين، ووسائل التحكم الإلكترونى والرادياتير (المبادل الحرارى) ولا يوجد به موتور احتراق داخلى أو محاور أو وصلات ميكانيكية. وفى هذه السيارة تكون القيادة بواســطة التكنولوجــيا السلــكية Autonomy وتوجد بالشاسيه بعـــض الوصـــلات التى تربـــط الشاســـيه مع هيكل السيارة، وهذا النظام يجعل هيكل السيارة خفيف الوزن وغير معقد ومن الممكن استبداله بسهولة .

ومن مزايا السيارات التى تعمل بخلايا الوقود أن كفاءتها ضعف كـــفاءة السيارة التى تعمل بمحرك الاحتراق الداخلى، أى أنها تحتاج إلى نصف طاقة الوقود فقط، ولعل سهولة تغيير هيكل السيارة يجعل مالكها يستطيع تغييره كما يريد فيجعلها سيارة عائلية – سيدان، أو يحولها إلى منى فان mini van بعد ذلك. كما يستطيع أن يطور أداء السيارة وتحسينه بإضافة برامج أكثر حداثة soft ware كما فى الحاسوب بحيث تصبح أكثر ملاءمة للأغراض المستخدمـــة فيها تبعاً لرغبة صاحبها .



شكل (١٩) يبين الأجزاء التى تؤدى مختلف الوظائف فى تحريك السيارة التى تعمل بالهيدروجين بالنظام السلكى wire technology ولتى تنتجها شركة GM تحت مسمى Autonomy وهى على شكل شريحة التزلج على الجليد. ويلاحظ أن التكنولوجيا السلكية تغنى عن استخدام طارة القيادة والفرامل وغير ذلك من الأجزاء الميكانيكية المستخدمة فى السيارات التقليدية، كما أن موتور الاحتراق الداخلى قد تم الإستغناء عنه بأربع موتورات تعمل بالكهرباء قرب الإطارات. وهذا النظام يسهل على مصممى السيارات عمل تصميمات مختلفة لهيكل السيارة. وفى هذا النظام يمكن استخدام الشاسيه ليلائم أكثر من تصميم لهيكل السيارة. كما أن مالك السيارة يستطيع تغيير الهيكل لتصبح السيارة سيدان أو مينى فان أو سيارة فخمة أو غير ذلك، كما يمكن تحديث أداء السيارة بإضافة برمجيات حديثة Software لنظام الحاسوب الذى يتحكم فى أداء السيارة.

فى القيادة باستخدام نظام التحكم السلكى Autonomy لا يحتاج السائق أن يستخدم طارة الدركسيون أو علبة التروس Gear Box أو دواسة البنزين أو دواسة الفرامل أو الدبرياج فسيارة هاى وير Hy-wire مزودة بنظام للتحكم فى توجيه السيارة يسمى نظام X للقيادة (X-Drive) وفى هذا النظام يستطيع السائق أن يستخدم يده اليمنى أو اليسرى للقيام بتوجيه السيارة وزيادة سرعتها أو إبطائها، وقائد السيارة يبدأ فى تشغيلها بالضغط على زر القدرة Power Button ثم يختار بعد ذلك أحد الأوضاع الثلاثة: المور neutral، أو الإتجاه للوراء reverse، أو الحركة للأمام neutral. وفى نظام X للقيادة لا يوجد ذراع عجلة القيادة أو لوحة البيانات المثبتة



شكل (٢٠) سيارة خفيفة الوزن، متسعة، عالية الكفاءة من نوع SUV تم تصميمها عام ٢٠٠٠ وتزن 857 كيلو جرام فقط وهو نصف وزن السيارة التقليدية، إلا أن الدعامات المصنوعة من خيوط الكربون تزيد عامل الأمان فى السيارة عند حدوث تصادم. وبالسيارة خلايا وقود قدره 35 كيلواط يمكنها تحريك السيارة لمسافة ٥٣٠ كيلو متر وبها تانك يتسع لـ ٣,٤ كيلو جرام من الهيدروجين، ويمكن للسيارة أن تصل إلى سرعة ١٠٠ كيلو متر فى الساعة بعد ٨,٣ ثانية من بدء الحركة .

أمام السائق كما فى السيارات التقليدية، كما لا يوجد موتور الإحتراق الداخلى فى مقدمة السيارة. كل هذه الأشياء تجعل السيارة موديل هاى واير أكثر اتساعاً إذا ما قورنت بالسيارة التقليدية التى لها نفس الحجم. كما أن عدم وجود كتل ثقيلة مثل موتور الاحتراق الداخلى يجعل سيارة هاى واير مثل لوح التزلج على الجليد أكثر استقراراً على الطريق من السيارة التقليدية .

مستقبل صناعة السيارات التى تعمل بخلايا الوقود :

لعل التصميم البسيط للسيارات من طراز هاى واير Hy-wire سوف يؤدى إلى إنتعاش ملحوظ فى صناعة السيارات. فى الوقت الحالى رأس المال المستغل فى صناعة السيارات ضخم للغاية وحدود ربحيته متواضعة، فتزايد إنتاج السيارات فى اضطراد مستمر مما أدى إلى هبوط أسعارها فى الوقت الذى تتزايد فيه متطلبات الإنتاج بحيث تتمشى صناعة السيارات مع المتطلبات المتزايدة لضمان الأمان وعدم تلوث البيئة والرفاهية التى يتوق إليها أصحاب السيارات .

إن المفهوم الجديد لسيارات هاى واير Hy-wire سوف يطور من أنماط صناعة السيارات الموجودة حالياً ويقلل من تكلفة الإنتاج، فمع صناعة شاسيه منفصل عن صناعة الهيكل سيجعل من الممكن إنتاج تصميم واحد للشاسيه ويستخدم مع العديد من تصميمات هياكل السيارات. فى هذه الحالة سيكتفى بصنع ثلاثة أحجام فقط للشاسيه صغير ومتوسط وكبير. وهذا النمط سيسمح بزيادة الإنتاج وتقليل التكلفة، ونظراً لأن هذا الطراز يتميز بعدد من الأجزاء أقل بكثير مما في السيارات الحالبة ستكون تكلفة الإنتاج أقل كثيراً. فمصفوفات خلايا الوقود تتكون من وحدات متشابهة وتبعاً للقدرة الكهربائية المطلوبة يمكن مضاعفة. عدد الخلايا أو إنقاصها فى تلك المصفوفات .

فى الوقت الحالى يصل سعر مصفوفة الخلايا التى تعطى كيلوات واحد ألف دولار، إلا أن السعر سوف ينخفض عندما يزداد الإنتاج بحيث تصبح تكلفة المصفوفة عشر ثمنها الحالى، كما أن استخدام عناصر محفزة منخفضة التكلفة وكذلك الأغشية البوليمرية كما سبق أن ذكرنا سيخفض من سعر تلك الخلايا.

ونظراً لأن طراز هاي واير يتكون من شاسيه منفصل عن هيكل السيارة فشركات السيارات الكبرى يمكنها أن تصنع الشاسيه فقط وهو الجزء الأكثر تعقيداً فى السيارة ثم تصدره إلى مختلف الدول حيث يتم فيها تصنيع الهيكل وتجميعه مع الشاسيه. ومن ثم يكون سعر إنتاج الشاسيه اقتصاديًّا للغاية لأن المصانع الكبرى يمكنها أن تنتجه بأعداد وفيرة دون أن تضيع الوقت فى صنع الهيكل الذى يمكن إنتاجه فى المصانع الصغيرة بمختلف الدول .

أما عن تطوير السيارة وتحسين أدائها فلا يحتاج لأكثر من تجديد البرمجيات وشراء أنواع متطور منها Soft ware تضاف للسيارة كما يمكن استبدال بعض المكونات Hard ware الخاصة بالتحكم .

ويستطيع صاحب السيارة أن يستبدل الشاسيه بآخر أحدث منه، أما الهيكل فيمكن استخدامه دون تغيير. ومن ثم تكون تكلفة تجديد السيارة وتحسين أدائها أقل من تكلفة شراء سيارة تقليدية جديدة .

تخزين وقود الهيدروجين داخل السيارة :

لعل مشكلة تخزين الهيدروجين داخل سيارة هاى واير Hy-wire من الموضوعات الهامة الواجب التغلب عليها، وتتلخص هذه المشكلة فى إيجاد طريقة آمنة لحمل كمية من الهيدروجين داخل السيارة تكفى لتسييرها لمسافة ٣٠٠ كم على الأقل، وأى طريقة لعملية التخزين داخل السيارة يجب أن تظل فى حالة جيدة وصالحة للاستخدام حتى تقطع السيارة مسافة ١٥٠٠٠٠ ميل، كما يجب أن تكون صالحة للاستخدام فى درجات حرارة من ٤٠°س إلى – ٤٠°س كما أن عملية تزويد السيارة بالوقود يجب أن لا تستغرق أكثر من خمس دقائق، وهناك العديد من الطرق لحفظ الهيدروجين إما على شكل غاز، أو على شكل هيدروجين سائل ولكل طريقة تحدياتها .

فاستخدام الهيدروجين على شكل غاز مضغوط داخل أسطوانات تتحمل ضغطاً يصل إلى ٥٠٠٠ باوند على البوصة المربعة (PSI) أى ما يعادل ٣٥٠ بار، لكن كمية الهيدروجين المطلوبة هى ١٠٠٠٠ PSI أى ٧٠٠ بار لكى تستطيع السيارة قطع مسافة ٣٠٠ ميل. ولدواعى الأمن يجب أن تتحمل الأسطوانة ضغطاً يصل إلى ضعف الضغط المستخدم فى الوقود. وتصنع تلك الأسطوانات من مواد مرتفعة الثمن مثل الخيوط الكربونية Carbon Fiber أو من الحديد، إلا أنها تكون ثقيلة الوزن وكبيرة الحجم وقد يصعب وضعها داخل السيارة .

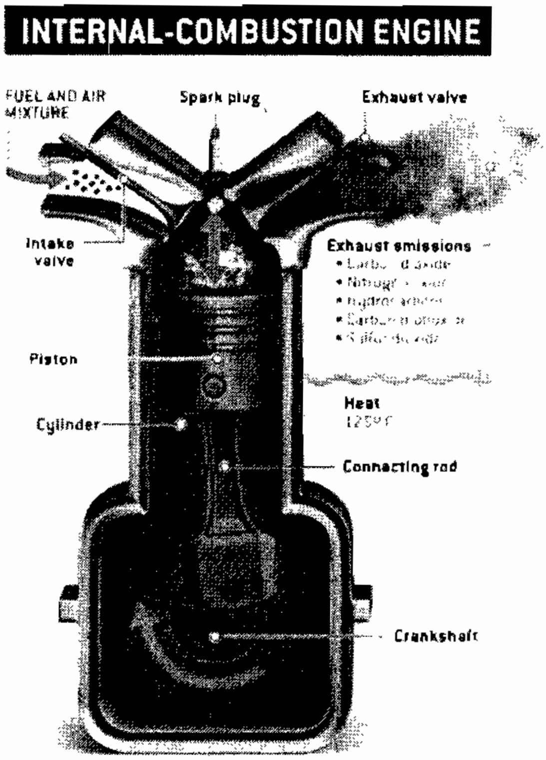
ويمكن حفظ الهيدروجين كذلك على شكل سائل، إلا أن ذلك يحتاج إلى قدر كبير من الطاقة لتبريد الغاز إلى درجة – ٢٥٣°س وحفظه فى أوعية معزولة عزلاً حرارياً، إلا أن من ٣ إلى ٤ ٪ من الهيدروجين المسال يتبخر فى اليوم الواحد ويتحول إلى غاز يمكن استخدامه فى اليوم التالى. أما إذا كانت السيارة تقف فى الجراج ولا تستخدم إلا على فترات متباعدة فسيكون تكلفة الهيدروجين المتبخر كبيرة .

لعل الحل الأمثل هو حفظ الهيدروجين فى الفراغات البينية لبعض هيدريدات الفلزت metal hydride. فى هذه الطريقة يجرش الهيدريد على شكل مسحوق ثم يعاد كبسه فيصبح مثل الإسفنج Sponge قادراً على امتصاص كمية كبيرة من

الهيدروجين. ولكي نستعيد الغاز منه يتم تسخين الهيدريد إلى درجة حرارة ١٥٠°س. ولاتزال البحوث في هذا الصدد تسير في بدايتها، إلا أن الأمل كبير في أن تؤدي إلى عمل سبيكة صالحة لحفظ الهيدروجين وعلى درجة كبيرة من الأمان .

مقارنة بين خلية كهركيميائية وآلة احتراق داخلي

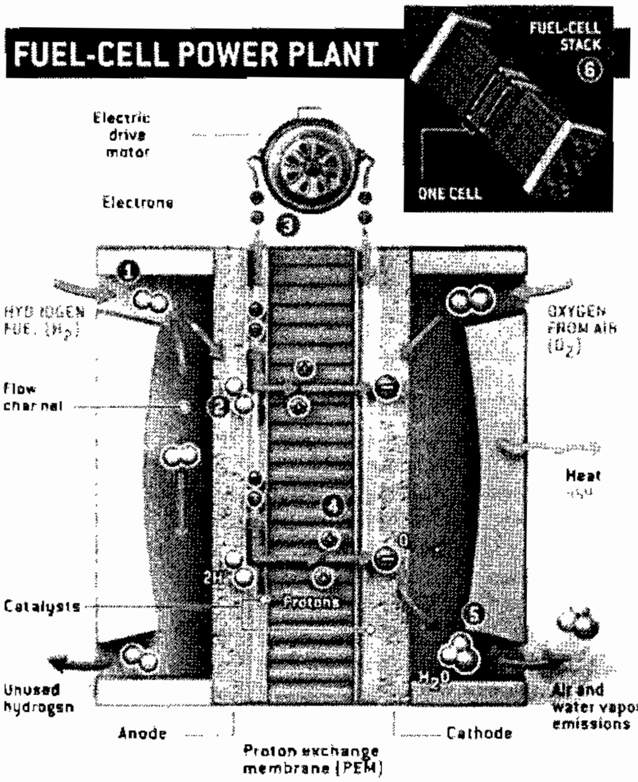
شكل (٢١-أ) آلة الإحتراق الداخلي



تصل كفاءة تلك الآلة إلي ٣٠ ٪

تستخدم معظم السيارات محركات احتراق داخلي رباعي الأشواط. يتحرك البستون Piston إلى أعلى وإلى أسفل مع حركة دوران الكرانك مبتدأ من أعلى الأسطوانة Cylinder. ينفتح الصمام الخاص بدخول الوقود مختلطًا بالأوكسجين إلى داخل الأسطوانة بينما يكون البستن إلى أسفل، يعود البستن إلى أعلى فيضغط على خليط الجازولين والهواء وتقوم شمعة الإشعال بحرق هذا الخليط فيزداد الضغط داخل الأسطوانة ويندفع البستن إلى أسفل، فيفتح صمام خروج الغازات فتخرج غازات العادم خارج المحرك. وتبدأ الدورة من جديد.

شكل (٢١-ب) خلايا الوقود التي تولد الطاقة الكهربائية المحركة للسيارات



كفاءة تصل إلى ٥٥ ٪

تتكون خلايا الوقود من غشاء لتبادل البروتونات PEM والكترودين مساميين، أنود وكاثود مفصولين بواسطة غشاء بوليميري إلكتروليتي يسمح فقط بإمرار البروتونات. أحد سطحي كل من الآنود والكاثود مغطي بمادة محفزة. بعد دخول الهيدروجين (١)، يقوم المحفز المغطى لأحد سطحي الآنود بفصل الإلكترون عن البروتون (٢)و ينتقل الإلكترون عن طريق الآنود ليدير المحرك الكهربائي (٣)، ينتقل البروتون خلال الغشاء (٤) إلى الكاثود. يقوم المحفز المغطى لأحد سطحي الكاثود باتحاد الإلكترون العائد عن طريقه مع البروتون، ومع الأوكسجين الآتي من الخارج (من الهواء الجوى) ليكون الماء (٥)، تجمع الخلايا في مجموعات لإعطاء الفلط المطلوب (٦) .

مطابع الدار الهندسية/القاهرة
تليفاكس: ٥٤٠٢٥٩٨ محمول: ٠١٢٢٣٤٩٠١١